



TUGAS AKHIR - MN141581

**ANALISA KEKUATAN *SWASH BULKHEAD* SEBAGAI
LONGITUDINAL BULKHEAD RUANG MUAT KAPAL
TANKER MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA**

**Shakina Azizul Haque
NRP 4113100067**

**Dosen Pembimbing
Prof. Ir. Achmad Zubaydi, M.Eng., Ph.D.
Septia Hardy Sujatanti, S.T., M.T.**

**DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2017**



TUGAS AKHIR - MN141581

**ANALISA KEKUATAN *SWASH BULKHEAD* SEBAGAI
LONGITUDINAL BULKHEAD RUANG MUAT KAPAL
TANKER MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA**

**Shakina Azizul Haque
NRP 4113100067**

**Dosen Pembimbing
Prof. Ir. Achmad Zubaydi, M.Eng., Ph.D.
Septia Hardy Sujatanti, S.T., M.T.**

**DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2017**



FINAL PROJECT - MN141581

**STRENGTH ANALYSIS OF SWASH BULKHEAD AS
LONGITUDINAL BULKHEAD OF CARGO HOLD TANKER
SHIP USING FINITE ELEMENT METHOD**

**Shakina Azizul Haque
NRP 4113100067**

**Supervisors
Prof. Ir. Achmad Zubaydi, M.Eng., Ph.D.
Septia Hardy Sujiatanti, S.T., M.T.**

**DEPARTMENT OF NAVAL ARCHITECTURE
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA
2017**

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISA KEKUATAN *SWASH BULKHEAD* SEBAGAI *LONGITUDINAL BULKHEAD* RUANG MUAT KAPAL TANKER MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Keahlian Rekayasa Perkapalan – Konstruksi dan Kekuatan Kapal
Program Sarjana Departemen Teknik Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

Shakina Azizul Haque
NRP 4113100067

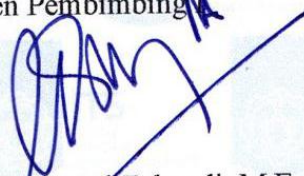
Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

Dosen Pembimbing II



Septia Hardy Sujiatanti, S.T., M.T.
NIP 19840921 201212 2 001

Dosen Pembimbing I

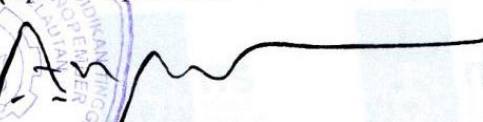


Prof. Ir. Achmad Zubaydi, M.Eng., Ph.D.
NIP 19590505 1984031 012

Mengetahui,

Kepala Departemen Teknik Perkapalan




Ir. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc., Ph.D.
NIP 19640210 198903 1 001

SURABAYA, 20 JULI 2017

LEMBAR REVISI

ANALISA KEKUATAN *SWASH BULKHEAD* SEBAGAI *LONGITUDINAL BULKHEAD* KAPAL TANKER MENGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA

TUGAS AKHIR

Telah direvisi sesuai dengan hasil Ujian Tugas Akhir
Tanggal 6 Juli 2016

Bidang Keahlian Rekayasa Perkapalan – Konstruksi dan Kekuatan Kapal
Program Sarjana Departemen Teknik Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

SHAKINA AZIZUL HAQUE
NRP 4113100067

Disetujui oleh Tim Penguji Ujian Tugas Akhir:

1. Sri Rejeki Wahyu Pribadi, S.T., M.T.
2. Totok Yulianto, S.T., M.T.
3. Wing Hendroprasetyo A.P., S.T., M.Eng.

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

1. Prof.Ir. Achmad Zubaydi, M.Eng Ph.D
2. Septia Hardy Sujiatanti, S.T., M.T.

SURABAYA, 20 JULI 2017

Dipersembahkan kepada kedua orang tua atas segala dukungan dan doanya

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa karena atas karunianya Tugas Akhir ini dapat diselesaikan dengan baik.

Pada kesempatan ini Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang membantu penyelesaian Tugas Akhir ini, yaitu:

1. Bapak Prof.Ir. Acmad Zubaydi M.Eng., dan Ibu Septia Hardy Sujiatanti ST., M.T selaku Dosen Pembimbing atas bimbingan dan motivasinya selama pengerjaan dan penyusunan Tugas Akhir ini;
2. Bapak Ir. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc., Ph.D selaku Dosen Wali dan Kepala Departemen Teknik Perkapalan yang telah memberikan dukungan secara moril;
3. Bapak Hasanudin S.T., M.T selaku Kepala Laboratorium Desain Kapal Departemen Teknik Perkapalan FTK ITS atas bantuannya selama pengerjaan Tugas Akhir ini dan atas ijin pemakaian fasilitas laboratorium;
4. Kedua orang tua (Syamsuddin dan Sri Indah Trisulawati), dan kedua kakak saya (Anindya F.Z dan Fauzia Hisyam A) yang telah memberikan dukungan, kepercayaan, dan doa kepada saya hingga terselesaikan nya laporan ini;
5. Zaki Rabbani, Ardianus, dan Dedi Dwi Sanjaya yang merupakan teman seperjuangan Tugas Akhir yang senantiasa memberikan bantuan dan motivasi
6. Dina Ayu Puspitasari dan Abdullah Azam, sahabat yang selalu memberikan motivasi dan hiburan ketika saya terpuruk dalam mengerjakan Tugas Akhir
7. Fajar, Sono, Feisal, Taufik, Yuda, Ridho, Jirjiz, Ericza, Kukuh, dan teman-teman Submarine lain nya yang tidak bisa saya sebutkan satu-satu yang selalu mendukung saya.
8. Mas Wasis Purwo Nugroho selaku senior yang selalu membantu dari awal pembuatan Tugas Akhir hingga Tugas Akhir ini selesai
9. Adik-Adik Samudra Raksa terutama untuk Vivi, Feima, Namira, Mia, Arum, Berliana, Jasmine, Fia, Audi dan Ainun yang selalu menyemangati saya.

10. Adik-adik Deadrise yaitu Icha, Hilda, Sasa, dan Uun yang selalu menyemangati saya.
11. Semua pihak yang telah membantu penulis, yang tidak bisa saya untuk disebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan, sehingga kritik dan saran yang bersifat membangun sangat diharapkan. Akhir kata semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi banyak pihak.

Surabaya, 20 Juni 2017

Penulis

ANALISA KEKUATAN SWASH *BULKHEAD* SEBAGAI LONGITUDINAL *BULKHEAD* KAPAL TANKER MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA

Nama Mahasiswa : Shakina Azizul Haque
NRP : 4113100067
Departemen / Fakultas : Teknik Perkapalan / Teknologi Kelautan
Dosen Pembimbing : 1. Prof. Ir. Achmad Zubaydi, M.Eng., Ph. D.
2. Septia Hardy Sujianti, S.T., M.T.

ABSTRAK

Kapal tanker adalah kapal yang membawa muatan curah cair. Dimana setiap tanki ruang muat mempunyai *free surface area*. *Free surface area* memungkinkan adanya gerakan bebas dari muatan. Gerakan dari muatan akan menyebabkan *sloshing pressure* secara longitudinal ataupun transversal. *Sloshing pressure* akibat gerakan muatan secara melintang merupakan salah satu penyebab dari *capsize*, hal ini dapat diminimalisir dengan cara pemasangan *longitudinal bulkhead*. Inovasi dari *longitudinal tight bulkhead* adalah *swash bulkhead*. *Swash bulkhead* memiliki lubang pada sekatnya dan menyebabkan *swash bulkhead* lebih ringan dibandingkan *tight bulkhead*. Disisi lain *swash bulkhead* memiliki *sloshing pressure* yang lebih kecil dibanding *longitudinal bulkhead*. Namun dari segi kekuatan perlu dilakukan pengecekan pada kedua *bulkhead*.

Pengecekan kekuatan konstruksi kedua sekat dilakukan dengan analisis metode elemen hingga. *Longitudinal swash bulkhead* dimodelkan dengan 4 diameter lubang yang berbeda yaitu diameter 200; 300; 400; 500 mm dan 3 total luasan yang sama yaitu 6%, 8%, dan 10% dari total luas sekat keseluruhan.

Tegangan maksimum yang dihasilkan dari *longitudinal tight bulkhead* sebesar 113.6 MPa, dan tegangan maksimum *swash bulkhead* yang terendah dari total luasan 6% sebesar 88.074 MPa pada variasidiameter 300 mm, total luasan 8% sebesar 85.096 MPa pada variasi diameter 300 mm, dan total luasan 10% sebesar 88.074 MPa pada variasidiameter 300 mm. Sehingga dari hasil analisa tersebut didapatkan model *longitudinal swash bulkhead* paling optimal yaitu *longitudinal swash bulkhead* dengan variasidiameter 300 mm pada total luasan 8%.

Kata kunci : *swash bulkhead*, *sloshing* , metode elemen hingga, analisis kekuatan

STRENGTH ANALYSIS OF SWASH BULKHEAD AS LONGITUDINAL BULKHEAD OF CARGO HOLD ON TANKER SHIP USING FINITE ELEMENT METHOD

Author : Shakina Azizul Haque
ID No. : 4113100067
Dept. / Faculty : Naval Architecture / Marine Technology
Supervisors : 1. Prof.Ir. Achmad Zubaydi M.Eng
2. Septia Hardy Sujatanti, S.T., M.T.

ABSTRACT

Tanker is a liquid bulk carrier vessel. Every tank of this vessel has free surface area. Free surface area makes possible free movement of the load. This movement causes sloshing pressure in longitudinal or transversal way. Sloshing pressure, caused by the transverse load movement, is one of the cause of capsize; can be minimized by applying longitudinal bulkhead. Swash bulkhead is an innovation of longitudinal bulkhead. Swash bulkhead has many holes in its bulkhead which make it lighter than tight bulkhead. On the other side, swash bulkhead has smaller sloshing pressure than longitudinal bulkhead. However, in the term of strength, checking on these two bulkheads is necessary.

Strength checking on these bulkhead was done with finite element analysis method. Longitudinal swash bulkhead was modelled with 4 different hole diameters: 200, 300, 400, 500 mm, and the same total areas of 6%, 8%, and 10% of the total area of the bulkhead.

Maximum stress produced from the longitudinal tight bulkhead is 113.6 Mpa, and the most effective maksimum stress of the total area of 6% is 88.074 MPa of longitudinal swash bulkhead with 300 mm of diameter; total area of 8% is 85.096 Mpa for the longitudinal swash bulkhead with 300 mm of diameter; total area of 10% is 88.074 Mpa for longitudinal swash bulkhead with 300 mm of diameter. From the result of the analysis, the model of the most effective longitudinal swash bulkhead, with 300 mm of diameter and 8% of total area, was made.

Keyword : swash bulkhead, sloshing, finite element method, strength analysis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	iii
LEMBAR REVISI.....	iv
HALAMAN PERUNTUKAN.....	v
KATA PENGANTAR.....	vi
ABSTRAK	viii
ABSTRACT	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL	xv
Bab I PENDAHULUAN	1
I.1. Latar Belakang Masalah.....	1
I.2. Perumusan Masalah.....	2
I.3. Tujuan.....	2
I.4. Batasan Masalah.....	2
I.5. Manfaat.....	3
I.6. Hipotesis.....	3
Bab II STUDI LITERATUR	5
II.1. Bulkhead.....	5
II.2. Pembebanan pada Longitudinal Bulkhead	7
II.2.1. Sloshing Pressure Transversal	7
II.3. Finite Element Method.....	9
II.3.1. Pemilihan Jenis Model Berdasarkan Tegangan yang Digunakan	12
II.3.2. Pemilihan Tipe Elemen	13
II.3.3. Tipe Elemen Solid 185	14
II.3.4. Meshing	15
II.3.5. Pemilihan Ukuran Meshing	15
II.4. Tipe Tumpuan	16
II.5. Tegangan	17
II.5.1. Regangan	17
II.5.2. Hubungan Regangan dengan Tegangan	18
II.5.3. Tegangan Von Mises	19
II.6. Poisson Number	19
II.7. Konvergensi	20
II.8. Tinjauan Pustaka.	21
Bab III METODOLOGI	23
III.1. Studi Literatur	23
III.2. Pengumpulan Data	23
III.2.1. Gambar Rencana Umum.....	24
III.2.2. Gambar Penampang Melintang Kapal	25
III.2.3. Gambar Detail Longitudinal Bulkhead.....	25
III.3. Longitudinal Tight Bulkhead	26
III.3.1. Pre-Processor	26

III.3.2.	Solver	30
III.3.3.	Post-Processor	32
III.4.	Longitudinal Swash Bulkhead	33
III.4.1.	Pre-processor	33
III.4.2.	Solver	40
III.4.3.	Post-Processor	42
III.5.	Konvergensi Model	42
III.6.	Bagan Alir	50
Bab IV	PEMBAHASAN	53
IV.1.	Hasil dan Pembahasan Analisis	53
IV.1.1.	Longitudinal Tight Bulkhead	53
IV.1.2.	Longitudinal Swash Bulkhead TotalLuasan 6% dari Luas Sekat	54
IV.1.3.	Pembahasan Longitudinal Swash Bulkhead dengan Total Luasan 6%	58
IV.1.4.	Longitudinal Swash Bulkhead TotalLuasan 8% dari Luas Sekat	60
IV.1.5.	Pembahasan Longitudinal Swash Bulkhead dengan Total Luasan 8%	64
IV.1.6.	Longitudinal Swash Bulkhead TotalLuasan 10% dari Luas Sekat	65
IV.1.7.	Pembahasan Longitudinal swash bulkhead dengan total luasan 10%	69
IV.2.	Pengecekan Hasil Analisis	71
IV.3.	Perbandingan tiap model berdasarkan total luasan lubang pada sekat	72
IV.4.	Perbandingan longitudinal tight bulkhead dan longitudinal swash bulkhead	73
Bab V	KESIMPULAN dan saran	75
V.1.	Kesimpulan	75
V.2.	Saran	75
DAFTAR	PUSTAKA	77
LAMPIRAN		
	Lampiran A Perhitungan Beban	
	BIODATA PENULIS	

DAFTAR GAMBAR

Gambar II. 1 Transverse Watertight Bulkhead.....	5
Gambar II. 2 Swash/wash Bulkhead.....	6
Gambar II. 3 Corrugated Bulkhead	6
Gambar II. 4 Tipe elemen solid 185	14
Gambar II. 5 Fine Mesh Zone	16
Gambar II. 6 Compressional dan Tensile Stress	17
Gambar II. 7 Pertambahan Panjang Internal	18
Gambar II. 8 Grafik Tegangan-Regangan	19
Gambar II. 9 Hubungan Antara Jumlah Elemen dan Parameter Fungsinya.....	20
Gambar II. 10 Swash Bulkhead dengan lubang merata.....	21
Gambar II. 11 Swash Bulkhead dengan Lubang dibawah.....	22
Gambar II. 12 Analogi Penggunaan Swash dengan Lubang pada bagian bawah jika terjadi collision	22
Gambar III. 1 Gambar Rencana Umum Tanker 17500 LTDW.....	24
Gambar III. 2 Gambar Penampang Melintang Kapal Tanker 17500 LTDW	25
Gambar III. 3 Detail Konstruksi Longitudinal Bulkhead Tampak Samping.....	25
Gambar III. 4 Pemilihan Tipe Analisa	27
Gambar III. 5 Pemilihan Tipe Elemen	28
Gambar III. 6 Pemilihan Sifat Material	28
Gambar III. 7 Proses pembuatan model longitudinal bulkhead	29
Gambar III. 8 Model Longitudinal Tight Bulkhead	29
Gambar III. 9 Hasil Meshing Longitudinal Tight Bulkhead	30
Gambar III. 10 Input Beban Bagian Panel/Pelat Tanpa Penegar	31
Gambar III. 11 Input Beban Untuk Pelat Berpenegar	31
Gambar III. 12 Pengaplikasian Kondisi Batas Pada Finite Element Software.....	32
Gambar III. 13 Proses Solve Pada Finite Element Software	32
Gambar III. 14 Hasil Stress pada Longitudinal Tight Bulkhead	33
Gambar III. 15 Hasil Deformation pada Longitudinal Tight Bulkhead	33
Gambar III. 16 Model swash D= 200mm luasan 6%	34
Gambar III. 17 Model swash D=300mm luasan 6%	35
Gambar III. 18 Model swash D=400mm luasan 6%	35
Gambar III. 19 Model swash D=500mm luasan 6%	35
Gambar III. 20 Model swash D=200mm luasan 8%	36
Gambar III. 21 Model swash D=300mm luasan 8%	36
Gambar III. 22 Model swash D=400mm luasan 8%	37
Gambar III. 23 Model swash D=500mm luasan 8%	37
Gambar III. 24 Model swash D=200mm luasan 10%	38
Gambar III. 25 Model swash D=300mm luasan 10%	38
Gambar III. 26 Model swash D=400mm luasan 10%	38
Gambar III. 27 Model swash D=500mm luasan 10%	39
Gambar III. 28 Hasil Meshing Longitudinal Swash Bulkhead	39
Gambar III. 29 Input Beban untuk Pelat Berpenegar	40

Gambar III. 30 Input Beban untuk Pelat Tanpa Penegar.....	40
Gambar III. 31 Pengaplikasian Kondisi Batas pada Finite Element Software	41
Gambar III. 32 Proses Solve pada Finite Element Software	41
Gambar III. 33 Hasil stress pada Salah Satu Longitudinal Swash Bulkhead	42
Gambar III. 34 Hasil deformation pada Salah Satu Longitudinal Swash Bulkhead	42
Gambar III. 35 Grafik Hasil Konvergensi pada Longitudinal Tight Bulkhead.....	43
Gambar III. 36 Grafik Hasil Konvergensi pada Longitudinal Swash Bulkhead Dengan D=200mm.....	43
Gambar III. 37 Grafik Hasil Konvergensi pada Longitudinal Swash Bulkhead Dengan D=300mm.....	44
Gambar III. 38 Grafik Hasil Konvergensi pada Longitudinal Swash Bulkhead Dengan D=400mm	44
Gambar III. 39 Grafik Hasil Konvergensi pada Longitudinal Swash Bulkhead DenganD=500mm	45
Gambar III. 40 Grafik Hasil Konvergensi pada Longitudinal Swash Bulkhead Dengan D=200mm.....	45
Gambar III. 41 Grafik Hasil Konvergensi pada Longitudinal Swash Bulkhead Dengan D=300mm	46
Gambar III. 42 Grafik Hasil Konvergensi pada Longitudinal Swash Bulkhead Dengan D=400mm	46
Gambar III. 43 Grafik Hasil Konvergensi pada Longitudinal Swash Bulkhead Dengan D=500mm	47
Gambar III. 44 Grafik Hasil Konvergensi pada Longitudinal Swash Bulkhead Dengan D=200mm.....	47
Gambar III. 45 Grafik Hasil Konvergensi pada Longitudinal Swash Bulkhead Dengan D=300mm.....	48
Gambar III. 46 Grafik Hasil Konvergensi pada Longitudinal Swash Bulkhead Dengan D=400mm	48
Gambar III. 47 Grafik Hasil Konvergensi pada Longitudinal Swash Bulkhead Dengan D=500mm	49
Gambar III. 48 Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir	51
Gambar IV. 1 Von Mises Stress pada Longitudinal Tight Bulkhead	53
Gambar IV. 2 Deformasi pada Longitudinal Tight Bulkhead	54
Gambar IV. 3 Von Mises Stress pada Longitudinal Swash Bulkhead D=200mm, Luasan 6%	54
Gambar IV. 4 Deformasi pada Longitudinal Swash Bulkhead D=200mm, Luasan 6%	55
Gambar IV. 5 Von Mises Stress pada Longitudinal Swash Bulkhead D=300mm, Luasan 6%	55
Gambar IV. 6 Deformasi pada Longitudinal Swash Bulkhead D=300mm, Luasan 6%	56
Gambar IV. 7 Von Mises Stress pada Longitudinal Swash Bulkhead D=400mm, Luasan 6%	56
Gambar IV. 8 Deformasi pada Longitudinal Swash Bulkhead D=400mm, Luasan 6%	57
Gambar IV. 9 Von Mises Stress pada Longitudinal Swash Bulkhead D=500mm, Luasan 6%	57
Gambar IV. 10 Deformasi pada Longitudinal Swash Bulkhead D=500mm, Luasan 6%	58
Gambar IV. 11 Grafik Tegangan Maksimum Swash Bulkhead pada Luasan 6%	59
Gambar IV. 12 Grafik Deformasi Swash Bulkhead Pada Luasan 6%	59
Gambar IV. 13 Von mises stress pada longitudinal swash bulkhead D=200mm, luasan 8% ..	60
Gambar IV. 14 Deformasi Pada Longitudinal Swash Bulkhead D=200mm, Luasan 8%	60
Gambar IV. 15 Von Mises Stress pada Longitudinal Swash Bulkhead D=300mm, Luasan 8%	61
Gambar IV. 16 Deformasi pada Longitudinal Swash Bulkhead D=300mm, Luasan 8%	61

Gambar IV. 17 Von Mises Stress pada Longitudinal Swash Bulkhead D=400mm, Luasan 8%	62
Gambar IV. 18 Deformasi pada Longitudinal Swash Bulkhead D=400mm, Luasan 8%	62
Gambar IV. 19 Von Mises Stress pada Longitudinal Swash Bulkhead D=500mm, Luasan 8%	63
Gambar IV. 20 Deformasi pada Longitudinal Swash Bulkhead D=500mm, Luasan 8%	63
Gambar IV. 21 Grafik Tegangan Maksimum Swash Bulkhead pada Luasan 8%	64
Gambar IV. 22 Grafik Deformasi Swash Bulkhead pada Luasan 8%	65
Gambar IV. 23 Von Mises Stress pada Longitudinal Swash Bulkhead D=200mm, Luasan 10%	65
Gambar IV. 24 Deformasi pada Longitudinal Swash Bulkhead D=200mm, Luasan 10%	66
Gambar IV. 25 Von Mises Stress pada Longitudinal Swash Bulkhead D=300mm, Luasan 10%	66
Gambar IV. 26 Deformasi pada longitudinal swash bulkhead D=300mm, luasan 10%	67
Gambar IV. 27 Von Mises Stress pada Longitudinal Swash Bulkhead D=400mm, Luasan 10%	67
Gambar IV. 28 Deformasi pada Longitudinal Swash Bulkhead D=400mm, Luasan 10%	68
Gambar IV. 29 Von Mises Stress pada Longitudinal Swash Bulkhead D=500mm, Luasan 10%	68
Gambar IV. 30 Deformasi pada Longitudinal Swash Bulkhead D=500mm, Luasan 10%	69
Gambar IV. 31 Grafik Tegangan Maksimum Swash Bulkhead pada Luasan 10%	70
Gambar IV. 32 Grafik Deformasi Swash Bulkhead pada Luasan 10%	70
Gambar IV. 33 Grafik Perbandingan Tegangan Maksimum Berdasarkan Total Luasan Lubang	72
Gambar IV. 34 Grafik Perbandingan Deformasi Maksimum Berdasarkan Total Luasan Lubang	73
Gambar IV. 35 Diagram Perbandingan Tegangan Maksimum Tight Bulkhead dan Swash Bulkhead	73
Gambar IV. 36 Diagram Perbandingan Deformasi Maksimum Tight Bulkhead dan Swash Bulkhead	74

DAFTAR TABEL

Tabel II. 1 Jenis-Jenis Tumpuan dan Definisinya	16
Tabel III. 1 Ukuran Utama Kapal	23
Tabel III. 2 Ukuran Utama Longitudinal Bulkhead	26
Tabel III. 3 Profil pada konstruksi Longitudinal Tight Bulkhead dan Swash Bulkhead.....	26
Tabel III. 4 Sloshing Pressure yang Diaplikasikan Pada Longitudinal Tight Bulkhead	30
Tabel III. 5 Arah Pengikatan Kondisi Batas	31
Tabel III. 6 Perhitungan Jumlah Lubang Swash Bulkhead Total Luasan 6%	34
Tabel III. 7 Perhitungan Jumlah Lubang Swash Bulkhead Total Luasan 8%	36
Tabel III. 8 Perhitungan Jumlah Lubang Swash Bulkhead Total Luasan 10%	38
Tabel III. 9 Sloshing Pressure yang Diaplikasikan pada Swash Bulkhead	40
Tabel III. 10 Arah Pengikatan Kondisi Batas	41
Tabel III. 11 Hasil Konvergensi Model	49
Tabel IV. 1 Hasil Nilai Tegangan dan Deformasi Maksimum pada Total Luasan 6%	58
Tabel IV. 2 Hasil Nilai Tegangan dan Deformasi Maksimum pada Total Luasan 8%	64
Tabel IV. 3 Hasil Nilai Tegangan dan Deformasi Maksimum pada Total Luasan 10%	69
Tabel IV. 4 Pengecekan Nilai Tegangan	71

BAB I

PENDAHULUAN

I.1. Latar Belakang Masalah

Kapal tanker adalah kapal yang mengangkut muatan curah cair, dimana kebanyakan dari muatannya adalah muatan yang berbahaya. Sebagai contoh minyak mentah, hasil olahan minyak mentah (bensin, solar, avtur, dll), dan cairan kimia. Muatan tersebut dianggap berbahaya karena mengandung komponen-komponen yang dapat menyebabkan kebakaran, berpotensi mencemari lingkungan, dan mengandung zat yang beracun.

Uraian di atas menunjukkan kapal tanker memerlukan regulasi khusus baik dalam segi konstruksi, ataupun *loading/unloading*. Dalam proses pengisiannya kapal tanker diwajibkan memberikan sedikit ruang (*space*) dalam ruang muat, hal tersebut bertujuan untuk mengurangi kemungkinan terjadinya ledakan karena pemuatan muatan saat kapal beroperasi. *Space* yang tidak terisi muatan tersebut dinamakan *free surface area*. Disisi lain *free surface area* juga memiliki dampak buruk pada kapal tanker. *Free surface area* dapat menyebabkan *sloshing pressure* pada ruang muat. *Sloshing pressure* adalah salah satu penyebab dari *capsize*.

Capsize adalah keadaan dimana kapal kehilangan stabilitasnya sehingga mengalami perubahan posisi atau oleng ke salah satu sisi dan tidak dapat kembali ke posisi semula. *Free surface area* memungkinkan muatan bergerak bebas dan mengakibatkan terjadi *sloshing pressure*. Keadaan ini dapat dihindari dengan memasang *longitudinal bulkhead* dan *swash bulkhead* di ruang muat. Sekat tersebut difungsikan untuk mengurangi *free surface area* sehingga meminimalisir terjadinya *sloshing*. Menurut Laan dan Markus (1996) *sloshing pressure* pada *swash bulkhead* lebih kecil dibandingkan pada *sloshing pressure longitudinal bulkhead*, namun diperlukan perhitungan lebih lanjut untuk memastikan kekuatan dari *swash bulkhead* dalam menerima beban yang terjadi di ruang muat.

I.2. Perumusan Masalah

Sehubungan dengan latar belakang di atas, permasalahan yang akan dikaji dalam tugas akhir ini adalah :

- a. Bagaimana desain *swash bulkhead* sebagai *longitudinal bulkhead* di ruang muat kapal tanker ?
- b. Bagaimana kekuatan *swash bulkhead* sebagai *longitudinal bulkhead* di ruang muat kapal tanker ?

I.3. Tujuan

Tujuan dari penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

- a. Mengetahui desain *swash bulkhead* sebagai *longitudinal tight bulkhead* di ruang muat kapal tanker.
- b. Mendapatkan nilai kekuatan *swash bulkhead* sebagai *longitudinal tight bulkhead* di ruang muat kapal tanker.

I.4. Batasan Masalah

Dalam pengerjaan tugas akhir ini permasalahan difokuskan pada:

- a. Analisis kekuatan *longitudinal tight* dan *swash bulkhead* menggunakan *finite element software*
- b. Perhitungan di khususkan untuk *longitudinal swash bulkhead* di ruang muat kapal tanker.
- c. Aturan yang digunakan adalah Biro Klasifikasi Indonesia dan *Common Structural Rules for Double Hull Oil Tanker*.
- d. Analisis pemodelan dilakukan tanpa menghiraukan sambungan pelat.
- e. Analisis kekuatan dilakukan pada *swash bulkhead* dengan total luasan lubang yang sama untuk variasi diameter lubang 200 mm, 300 mm, 400 mm, dan 500 mm.
- f. Pada proses pemodelan faktor stabilitas diabaikan.
- g. Pada *longitudinal swash bulkhead* setiap satu jarak pembujur hanya memiliki satu baris lubang.

- h. Total luasan yang digunakan untuk pemodelan adalah 6%, 8%, dan 10% dari total luas bulkhead.
- i. Analisis dilakukan pada kondisi muatan penuh.
- j. Perhitungan beban yang digunakan adalah *sloshing pressure*.
- k. Bentuk lubang pada *swash bulkhead* adalah lingkaran

I.5. Manfaat

Dari tugas akhir ini, diharapkan dapat diambil manfaat sebagai berikut :

- a. Secara akademis, diharapkan hasil pengerjaan tugas akhir ini dapat membantu menunjang proses belajar mengajar dan turut memajukan khazanah pendidikan di Indonesia.
- b. Secara praktek, diharapkan hasil dari tugas akhir ini dapat berguna sebagai referensi alternatif lain dari longitudinal bulkhead sebagai cara meminimalisir *sloshing effect* di ruang muat kapal tanker.

I.6. Hipotesis

Adapun hipotesis dari analisis ini akan mendapatkan nilai kekuatan dari swash bulkhead dan *longitudinal bulkhead*, dimana nilai kekuatan antara kedua *bulkhead* tidak terlalu signifikan.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB II

STUDI LITERATUR

II.1. *Bulkhead*

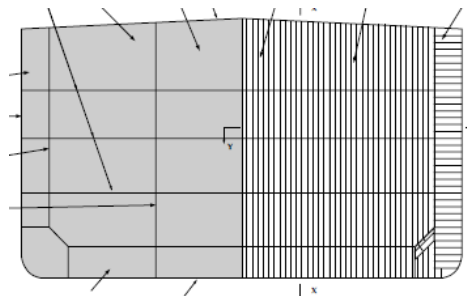
Bulkhead atau sekat adalah salah satu bagian kapal yang membagi satu kompartemen satu dengan kompartemen yang lainnya (IACS, 2012). *Bulkhead* pada kapal diletakan secara melintang maupun memanjang sehingga lebih dikenal dengan *transverse bulkhead*, dan *longitudinal bulkhead*. Fungsi dari *bulkhead* secara umum adalah :

1. Membagi *hull* utama kapal menjadi beberapa kompartemen, yang mana bila terjadi kebocoran pada salah satu kompartemen tidak meluap ke kompartemen yang lain.
2. *Bulkheads* juga mencegah penyebaran api bila terjadi kebakaran.
3. *Transverse bulkhead* mencegah adanya distorsi torsional pada kapal.
4. *Longitudinal bulkhead* menambah kekuatan kapal secara memanjang.

Selain itu *bulkheads* juga dibagi menjadi beberapa jenis yaitu :

1. *Watertight Bulkhead*

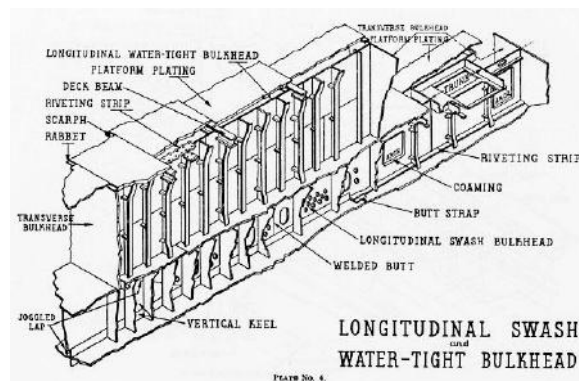
Watertight bulkhead yang ditunjukkan oleh Gambar II. 1 adalah jenis sekat pada kapal yang kedap air (IACS, 2012). Bagian-bagian pada kapal yang termasuk dalam *watertight bulkhead* adalah *collision bulkhead*, *longitudinal tight bulkhead*, *transverse tight bulkhead*, *afterpeak bulkhead*, *machinery bulkhead*. Fungsi dari *watertight bulkhead* ini adalah untuk mencegah penyebaran air ke kompartemen lain bila terjadi kebocoran pada kapal, selain itu juga mencegah penyeabran api ke kompartemen lain bila terjadi kebakaran. Tetapi setiap jenis *watertight bulkhead* memiliki fungsi spesifik masing-masing, seperti *longitudinal bulkhead* berfungsi untuk mencegah terjadinya *damage stability* pada kapal tanker (Scheneekluth & Bertram, 1998).



Gambar II. 1 *Transverse Watertight Bulkhead*
Sumber: IACS, 2012

2. *Swash/Wash Bulkhead*

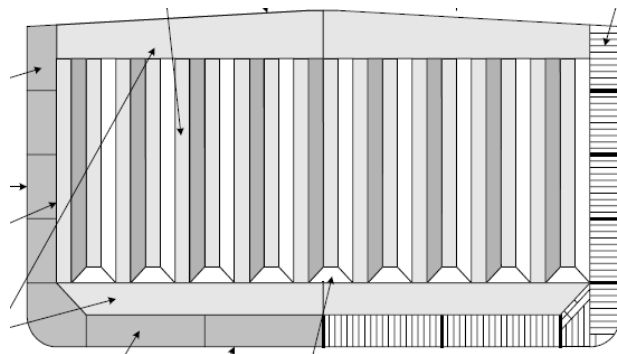
Swash/wash bulkhead merupakan sekat berlubang (IACS, 2012). Bagian-bagian pada kapal yang biasanya menggunakan *swash bulkhead* adalah *longitudinal centerline bulkhead* pada bagian ceruk, *cargo holds*, dan *stores*. Ketentuan persentase lubang pada sekat sudah di atur oleh setiap badan klasifikasi, seperti Badan Klasifikasi Indonesia memberikan ketentuan bahwa persentase lingkaran pada sekat berkisar antara 5-10% dari total luasan sekat tersebut (BKI, 2016). Biasa nya *swash/wash bulkhead* diletakan secara longitudinal dimaksudkan untuk mengurangi *free surface area* pada kapal. Gambar II. 2 merupakan salah satu contoh dari *swash/wash bulkhead*.



Gambar II. 2 *Swash/wash Bulkhead*
Sumber: Henry, 1991

3. *Corrugated Bulkhead*

Corrugated bulkhead atau sekat bergelombang merupakan sekat yang lebih kuat dibanding dengan sekat datar (IACS, 2012). Sekat bergelombang ini biasanya terdapat pada kapal tanker, fungsinya untuk memudahkan proses pembersihan sisa muatan yang ada pada ruang muat kapal tanker.



Gambar II. 3 *Corrugated Bulkhead*
Sumber: IACS, 2012

II.2. Pembebanan pada *Longitudinal Bulkhead*

II.2.1. *Sloshing Pressure Transversal*

Sloshing pressure adalah tekanan yang disebabkan oleh gerakan muatan di akibat *free surface* di ruang muat. Besar nilai *sloshing pressure* dipengaruhi oleh banyak nya sekat pembagi kompartemen, dan jumlah muatan yang di isi pada ruang muat (LR, 2004).

Menurut CSR (2012) ada dua jenis *sloshing pressure* yaitu *sloshing pressure* secara transversal dan *sloshing pressure* secara longitudinal. *Sloshing pressure* secara transversal adalah *sloshing pressure* yang disebabkan oleh gerak muatan secara transversal dan biasa terjadi pada *longitudinal bulkhead*. Untuk mendapatkan nilai dari *sloshing pressure* secara transversal dapat menggunakan persamaan II. 1 sebagai berikut:

$$P_{slh-t} = 7 \rho g f_{slh} \left(\frac{b_{slh}}{B} - 0.3 \right) GM^{0.75} \quad \text{II. 1}$$

dimana,

P_{slh-t} *sloshing pressure* secara transversal (kN/m²)

ρ massa jenis muatan cair , massa jenis yang digunakan tidak boleh kurang dari 1.025 (ton/m³)

b_{slh} lebar efektif *sloshing*, nilai nya tidak boleh kurang dari $0.3B$ (m)

GM tinggi metasenter, nilainya adalah $0.33B$ untuk perhitungan *sloshing pressure* di tanki ballast, dan $0.24B$ untuk perhitungan *sloshing pressure* di tanki muatan (m)

g percepatan gravitasi bumi (m/s²)

B lebar moulded (m)

sedangkan rumus dari f_{slh} dapat dijabarkan pada persamaan II.2 sebagai berikut :

$$f_{slh} = 1 - 2 \left(0.7 - \frac{h_{fill}}{h_{max}} \right)^2 \quad \text{II. 2}$$

dimana,

f_{slh} koefisien dari tinggi pengisian muatan di ruang muat

h_{fill} tinggi muatan yang diukur dari double bottom (m)

h_{max} tinggi tanki maksimum tidak termasuk palkah kecil yang diukur dari double bottom (m)

Dalam perhitungan *sloshing pressure* dibutuhkan nilai lebar efektif yang didapatkan dari persamaan II. 3 dan persamaan II. 6

1. Rumus lebar efektif untuk *longitudinal tight bulkhead*

$$b_{slh} = \frac{(1+n_{wash-lng}\alpha_{wash-lng})(1+f_{grd}\alpha_{grd})b_{tk-h}}{(1+n_{wash-lng})(1+f_{grd})} \quad \text{II. 3}$$

dimana,

b_{slh}	lebar efektif untuk <i>longitudinal tight bulkhead</i> (m)
f_{grd}	faktor untuk penumpu memanjang dan pembujur swash bulkhead di dalam tanki
n_{grd}	jumlah penumpu memanjang di swash bulkhead
b_{tk-h}	lebar tanki muatan (m)

sedangkan untuk rumus $\alpha_{wash-lng}$ ditunjukkan oleh persamaan II.4 sebagai berikut :

$$\alpha_{wash-lng} = \frac{A_{opn-wash-lng}}{A_{tk-lng-h}} \quad \text{II. 4}$$

dimana,

$\alpha_{wash-lng}$	koefisien longitudinal wash bulkhead
$A_{tk-lng-h}$	total luas penampang memanjang tanki sampai tinggi pengisian muatan (m ²)
$A_{opn-wash-lng}$	total luas bukaan di penampang memanjang swash bulkhead sampai tinggi pengisian muatan (m ²)

dan sedangkan untuk rumus $\alpha_{wash-grd}$ ditunjukkan pada persamaan II. 5 sebagai berikut:

$$\alpha_{wash-grd} = \frac{A_{opn-grd-h}}{A_{tk-lng-h}} \quad \text{II. 5}$$

dimana,

$\alpha_{wash-grd}$	koefisien girder
$A_{opn-grd-h}$	total luas bukaan penampang memanjang sampai tinggi pengisian muatan (m ²)

2. Rumus lebar efektif untuk *longitudinal wash bulkhead*

$$b_{slh} = \frac{[1+(n_{wash-lng}-1)\alpha_{wash-lng}](1+f_{grd}\alpha_{grd})b_{tk-h}}{(1+n_{wash-lng})(1+f_{grd})} \quad \text{II. 6}$$

dimana,

b_{slh}	lebar efektif untuk longitudinal wash bulkhead (m)
$n_{wash-lng}$	jumlah longitudinal <i>wash bulkhead</i> di dalam tanki

f_{grd} faktor untuk penumpu memanjang dan pembujur swash bulkhead di dalam tanki

n_{grd} jumlah penumpu memanjang di *swash bulkhead*

b_{tk-h} lebar tanki muatan (m)

sedangkan untuk rumus $\alpha_{wash-lng}$ ditunjukkan oleh persamaan II.7 sebagai berikut :

$$\alpha_{wash-lng} = \frac{A_{opn-wash-lng}}{A_{tk-lng-h}} \quad \text{II. 7}$$

dimana,

$\alpha_{wash-lng}$ koefisien longitudinal *wash bulkhead*

$A_{opn-wash-lng}$ total luas bukaan di penampang memanjang *swash bulkhead* sampai tinggi pengisian muatan

$A_{tk-lng-h}$ total luas penampang memanjang tanki sampai tinggi pengisian muatan

dan sedangkan untuk rumus $\alpha_{wash-grd}$ ditunjukkan pada persamaan II. 8 sebagai berikut:

$$\alpha_{wash-grd} = \frac{A_{opn-grd-h}}{A_{tk-lng-h}} \quad \text{II. 8}$$

dimana,

$\alpha_{wash-grd}$ koefisien girder

$A_{opn-grd-h}$ total luas bukaan penampang memanjang sampai tinggi pengisian muatan

Untuk h_{fill} yang digunakan pada rumus *sloshing pressure* di atas, dihitung setiap $0.05h_{max}$ dimulai dari tinggi pengisian $0.05h_{max}$ sampai $0.95h_{max}$. Dari beberapa hasil beban yang dihitung menggunakan variasi h_{fill} akan dipilih beban yang terbesar.

Pembebanan *sloshing pressure* diaplikasikan pada dua arah, pada sisi pelat luar/panel tanpa penegar, dan pada pelat yang berpenegar. Beban yang diaplikasikan memiliki persentase 100% beban maksimum untuk pelat luar tanpa penegar, dan 70% untuk pelat berpenegar (LR, 2004).

II.3. Finite Element Method

Menurut Logan (2007) *finite element method* adalah metode yang digunakan untuk menyelesaikan masalah teknik dan matematika fsika. Tipe dari masalah yang perlu diselesaikan meliputi analisis stuktur, *heat transfer*, *fluid flow*, *lubrication*, *electric magneticfields*, dan *mass transport*. Dalam permasalahan yang melibatkan bentuk yang rumit, pembebanan yang rumit, dan material properties yang rumit, permasalahan ini sangat

tidak mungkin untuk diselesaikan secara analisis numerik. Maka dari itu penyelesaian dari permasalahan tersebut dapat menggunakan *finite element method*. Finite element method digunakan untuk memodelkan struktur yang terdiri dari elemen kecil. Kontinum atau benda dibagi menjadi beberapa bagian yang lebih kecil, maka elemen kecil ini disebut elemen hingga (*finite element*). Proses pembagian kontinum menjadi elemen hingga disebut dengan proses diskretisasi. Secara umum elemen pada metode elemen hingga dibedakan menjadi 3 yaitu 1D, 2D, dan 3D.

Dengan menggunakan *finite element method* kita dapat mengubah suatu masalah dengan jumlah derajat kebebasan tertentu sehingga proses pemecahannya akan lebih sederhana. Misalnya suatu batang panjang yang bentuk fisiknya tidak lurus, dipotong-potong sependek mungkin sehingga terbentuk batang-batang pendek yang relatif lurus. Maka pada batang yang panjang tadi disebut kontinum dan batang yang pendek disebut elemen hingga (Weaver & Johnston, 1993).

Pendekatan dengan menggunakan *finite element method* merupakan suatu analisis pendekatan berdasarkan asumsi peralihan atau asumsi tegangan, bahkan dapat juga berdasarkan kombinasi dari kedua asumsi tersebut dalam setiap elemennya. Karena pendekatan berdasarkan fungsi peralihan merupakan teknik yang sering sekali dipakai, maka langkah-langkah berikut ini dapat diadopsi sebagai pedoman bila menggunakan pendekatan berdasarkan asumsi tersebut (Nasution, 2010):

1. Sistem struktur dibagi dalam elemen-elemen hingga. Elemen-elemen hingga tersebut membentuk sistem melalui titik-titik nodal. Pemilihan tipe elemen, dan jumlah total elemen digunakan dalam berbagai variasi dan ukuran berdasarkan pertimbangan rekayasa dalam analisis. Elemen yang dipakai harus cukup kecil supaya memberikan hasil yang akurat. Pemilihan elemen yang digunakan dalam analisis elemen hingga bergantung pada kondisi fisik struktur akibat pembebanan dan sejauh mana pendekatan analisis yang dilakukan guna memperoleh perilaku yang sesungguhnya.
2. Pemilihan fungsi perpindahan. Fungsi perpindahan pada setiap elemen didefinisikan menggunakan nilai-nilai nodal dari elemen. Persamaan linear, persamaan kuadrat, dan polinomial adalah beberapa fungsi yang digunakan karena bentuk yang sederhana untuk penyelesaian elemen hingga. Seri trigonometri juga dipergunakan bagi elemen dimensional bidang. Fungsi-fungsi di atas dinyatakan dalam bentuk nodal yang tidak diketahui atau bagi kajian dimensional bidang

komponen x dan y . Dengan demikian, *finite element method* adalah proses kuantitas bersinambungan yang dinyatakan sebagai perpindahan diseluruh sistem yang didekati oleh model diskrit sebagai fungsi-fungsi kontinnumsegmental dengan domain elemen hingga.

3. Pada setiap elemen khusus yang dipilih harus memenuhi persyaratan hubungan regangan peralihan dan hubungan regangan tegangan. Hubungan regangan atau perpindahan dan tegangan diperlukan dalam setiap penurunan persamaan elemen hingga.
4. Penurunan persamaan dan matrik kekakuan elemen. Terdapat tiga metode dalam menyusun persamaan aljabar global atau lengkap dari *finite element method* yaitu metode perpindahan, metode gaya, dan metode gabungan. Masing-masing metode tersebut saling berhubungan dengan bentuk-bentuk alternatif dari penggunaan prinsip perpindahan energi.
5. Penyusunan matrik guna mendapatkan persamaan global atau dengan syarat-syarat batas. Persamaan global ditulis dalam bentuk matriks pada persamaan II. 9 sebagai berikut

$$\{f\} = [k]\{d\} \quad \text{II. 9}$$

Dimana,

$\{f\}$ = matrik gaya
 $[k]$ = matrik kekakuan
 $\{d\}$ = matrik perpindahan

Penyelesaian persamaan linier simultan untuk derajat kebebasan struktur. Persamaan II. 9 disusun untuk kondisi batas, merupakan persamaan aljabar simultan dalam notasi matrik yang lebih kompleks.

6. Perhitungan tegangan pada titik tertentu pada elemen dengan persamaan yang telah diperoleh dari langkah sebelumnya.
7. Analisis akhir dan interpretasinya. Pemetaan lokasi pada struktur terjadinya deformasi maksimum dan tegangan maksimum pada struktur merupakan hal yang penting dalam mengambil kesimpulan dari analisis atau design.

Adapun menurut Hoque (2016) prosedur perhitungan menggunakan *finite element method* menghasilkan persamaan dalam jumlah banyak, yang biasanya perhitungan ini menggunakan alat bantu seperti komputer. Hasil dari perhitungan *finite element*

method berbanding lurus dengan jumlah persamaan, semakin banyak jumlah persamaan maka hasil perhitungan semakin akurat. Analisis *finite element method* pada umumnya dilakukan menggunakan *software*, yang terdiri dari :

1. *Pre-processor* adalah proses dimana struktur dibagi menjadi elemen-elemen kecil yang berhingga. *Pre-processor* disebut juga dengan *mesh generation program*. Kemudian kondisi batas diaplikasikan kedalam struktur yang telah terbagi menjadi elemen-elemen kecil (*meshing*) untuk menentukan derajat kebebasan dari struktur yang dianalisis.
2. *Solver* adalah proses penyelesaian dari persamaan-persamaan semua elemen untuk menentukan nodal values yang nilainya tergantung dengan nilai yang dianalisis. Sebagai contoh untuk permasalahan plane stress menentukan *nodal values stress*, dan untuk permasalahan *heat transfer* menentukan *nodal heat fluxes*.
3. *Post-processor* adalah tahap terakhir dari analisa FEM yang menampilkan output dari solver ke dalam bentuk grafis.

Kelebihan analisis struktur menggunakan FEM adalah metode ini dapat diaplikasikan pada berbagai macam permasalahan.

II.3.1. Pemilihan Jenis Model Berdasarkan Tegangan yang Digunakan

Pemilihan jenis model dilakukan berdasarkan jenis tegangan yang dianalisis, dalam hal ini terdapat jenis tegangan *nominal* dan tegangan *hotspot*. Berdasarkan BKI (2005) *Analysis Techniques Strength*, apabila digunakan tegangan *nominal*, maka perhitungan tegangan dapat dilakukan dengan menggunakan *relatively coarse finite element methods* untuk mewakili struktur yang dianalisis. Hasil dari tegangan *nominal* dapat dianalisis sebagai berikut :

- 1) Diperkirakan langsung terkait dengan *detail category* yang sesuai.
- 2) Dikalikan dengan *Stress Concentration Factor* (K_s).
- 3) Dijadikan kondisi batas untuk model lokal dari *detail category* yang diperhatikan.

Apabila analisis kelelahan didasarkan pada tegangan *hotspot*, berdasarkan *International Institute of Welding* atau yang disingkat dengan IWW (1996), maka struktur dimodelkan pada elemen hingga sebagai berikut :

- 1) Tegangan *hotspot* dihitung menggunakan sambungan las dalam kondisi ideal tanpa ada *misalignment*.
- 2) Ukuran *meshing* pada elemen hingga harus dibuat sebaik mungkin di dekat area *hotspot* sehingga tegangan dan gradiensi tegangan dapat ditentukan pada titik yang

dapat dibandingkan dengan poin ekstrapolasi yang digunakan untuk mengukur *strain gauge*.

- 3) Pelat, pelat bilah dan pelat hadap dimodelkan menggunakan *4-node thin shell* atau *8-node solid element*. Pada gradiensi tegangan yang curam, direkomendasikan menggunakan *8-node thin shell element* atau *20-node solid element*.
- 4) Saat menggunakan *thin shell element*, struktur dimodelkan pada titik tengah ketebalan pelat. Ketika dibutuhkan, ketegaran pada perpotongan las dimasukkan kedalam model dengan memodelkan las menggunakan *shell element* yang dimiringkan.
- 5) Rasio elemen tidak boleh lebih besar dari 3.
- 6) Ukuran elemen pada *hotspot area* dibuat 1-2 kali dari ketebalan struktur.
- 7) Pusat luasan (*centroid*) pada elemen yang berbatasan dengan kaki las harus diletakkan di antara kaki las dan 0.4 t dari kaki las.
- 8) Tegangan dihitung pada permukaan dari pelat.

Dengan analisis *finiteelement* tersebut, nilai tegangan *hotspot* pada sambungan las dihitung sebagai berikut :

- Ekstrapolasi tegangan pada struktur yang mengalami diskontinuitas dimana gradiensi tegangan terbesar diperkirakan terjadi. Nilai ini diperoleh berdasarkan nilai tegangan pada 0.5 t dan 1.5 t dari kaki las.
- Tegangan pada titik *hotspot*, apabila gradiensi tegangan tidak naik secara jelas

Selain dua cara diatas, tegangan *hotspot* dapat ditentukan berdasarkan formula parametris yang memberikan faktor konsentrasi tegangan (K_s) berdasarkan nilai tegangan *nominal* yang diperoleh.

II.3.2. Pemilihan Tipe Elemen

Pemilihan tipe elemen secara garis besar didasarkan pada ketergantungan objek analisa. Karakteristik dari elemen yang dipilih harus bisa merefleksikan tingkat ketegaranan struktur dan hasil analisis tegangan yang memadai.

Ada beberapa tipe elemen pada *finite element software* sekitar 100 tipe elemen berbeda, dengan karakteristik yang berbeda pula. Setiap tipe elemen memiliki nama-nama yang menunjukkan karakteristiknya seperti BEAM3, BEAM menunjukkan karakteristik tipe elemen dan angka 3 menunjukkan *unique number* dari elemen. Tipe element pada *finite element software* antara lain BEAM, CINCUS, COMBIN, CONTAC, FLUID, HF,

HYPER, INFIN, INTER, LINK, MASS, MATRIX, PIPE, PLANE, SHELL, SOLID, SOURC, SURF, TARGE, VISCO.

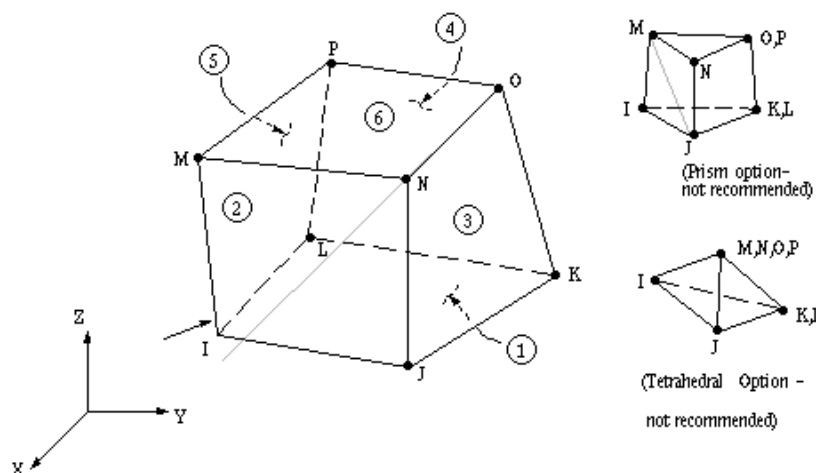
Pemilihan tipe elemen juga dapat didasarkan dari model yang akan dibuat, 2D atau 3D. Untuk pembuatan model 2D bisa menggunakan tipe elemen BEAM, sedangkan 3D dapat menggunakan tipe elemen SOLID. Selain dua tipe tersebut ada juga tipe elemen yang dapat digunakan untuk memodelkan 2D dan 3D seperti tipe elemen COMBIN.

Dari beberapa tipe elemen yang telah disebutkan di atas tipe elemen dibagi menjadi tiga tipe elemen yaitu *triangular elements*, *quadrilateral element*, dan *hexahedral element*. *Quadrilateral* dan *hexahedral elements* memiliki tingkat akurasi dan efisiensi yang lebih tinggi dibanding dengan *triangular element*. *Quadrilateral element* cocok digunakan untuk pemodelan 2D, dan *hexahedral element* lebih cocok digunakan untuk pemodelan 3D (Hoque,2016).

II.3.3. Tipe Elemen Solid 185

Seperti yang telah dijelaskan pada sub-bab II.3.2 untuk memodelkan dalam bentuk 3D atau volume maka dapat menggunakan *solid element*. Salah satu elemen yang termasuk solid element adalah SOLID185.

Solid185 memiliki karakteristik digunakan untuk membuat model 3D, dan memiliki 8 nodes. Tipe elemen ini memiliki 3 derajat kebebasan ke arah translasi x,y, dan z, selain itu memiliki *plasticity*, *stress stiffening*, *large deflection*, dan *large strain capabilities*. Biasanya tipe elemen solid185 digunakan untuk memodelkan model yang ukuran elemennya regular.



Gambar II. 4 Tipe elemen solid185

Pada gambar Gambar II. 4 Tipe elemen solid185 ditunjukkan bahwa pada proses *meshing* menggunakan tipe elemen ini tidak direkomendasikan untuk menggunakan prism, atau tetrahedral, dan sangat disarankan untuk menggunakan *hexahedral*.

II.3.4. Meshing

Menurut Hoque (2016) dalam tesisnya yang berjudul “*Analysis of Structural Discontinuities in Ship Hull Using Finite Element Methode*” *meshing* atau *mesh generation* merupakan proses pembuatan elemen berbentuk poligonal atau polihedral yang mendekati domain geometris model. Proses ini membagi model menjadi beberapa elemen dengan ukuran lebih kecil. *Meshing* adalah langkah kunci pada *finite element method* untuk perhitungan numerik. Di bawah ini beberapa contoh gambar dari *meshing/mesh generation*. Berdasarkan pertemuan antar elemen, tipe *meshing* dibagi menjadi dua tipe yaitu:

1. *Structured Mesh*

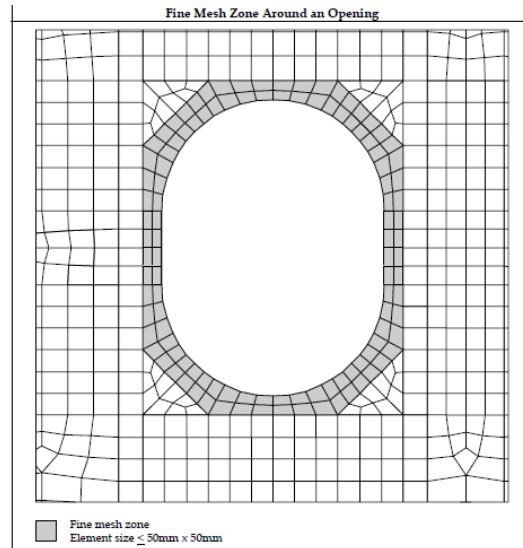
Structured mesh adalah tipe *meshing* yang dapat dilihat dari interior node *meshing* tersebut yang memiliki jumlah elemen yang sama pada titik pertemuan antar elemennya. Tipe *meshing* ini biasanya berbentuk quad atau hexagonal.

2. *Unstructured Mesh*

Unstructured Mesh biasanya digunakan untuk *meshing* model berbentuk irregular. Tipe *meshing* ini biasanya berbentuk tetrahedral atau triangel.

II.3.5. Pemilihan Ukuran Meshing

Menurut *Common Structural for Double Hull oil Tanker Appendix B Structural Strength Analysis* tahun 2012 menjelaskan bahwa ada beberapa bagian kapal yang harus menggunakan *fine mesh*, yang dinamakan *fine mesh zone* yaitu daerah yang memiliki tegangan tinggi. Ukuran *meshing* pada *fine mesh zone* tidak boleh kurang dari 50 mm. Salah satu contoh *fine mesh zone* seperti yang ditunjukkan Gambar II. 5,



Gambar II. 5 Fine Mesh Zone
Sumber: IACS, 2012

II.4. Tipe Tumpuan

Sifat-sifat gaya reaksi yang timbul pada suatu benda yang mendapat beban tergantung bagaimana benda tersebut ditumpu atau bagaimana benda tersebut disambung dengan benda lain. Ada beberapa pengondisian tumpuan pada sebuah struktur. Pada umumnya tumpuan yang sering dijumpai pada struktur adalah tumpuan jepit (*fix*), roda (*roll*) dan tumpuan sendi/engsel (*hinge*). Penjelasan dari tipe tumpuan dapat dilihat pada tabel berikut (Aulia, 2015):

Tabel II. 1 Jenis-Jenis Tumpuan dan Definisinya

Jenis Tumpuan	Perpindahan	Resultan
	$dv = 0$ $dh = 0$ $\phi = 0$	$F_v \neq 0$ $F_h \neq 0$ $M \neq 0$
	$dv = 0$ $dh \neq 0$ $\phi \neq 0$	$F_v \neq 0$ $F_h = 0$ $M = 0$
	$dv = 0$ $dh = 0$ $\phi \neq 0$	$F_v \neq 0$ $F_h = 0$ $M = 0$

II.5. Tegangan

Menurut Haryadi (2008) jika sebuah benda elastis ditarik oleh suatu gaya, benda tersebut akan bertambah panjang sampai ukuran tertentu sebanding dengan gaya tersebut, yang berarti ada sejumlah gaya yang bekerja pada setiap satuan panjang benda. Gaya yang bekerja sebanding dengan panjang benda dan berbanding terbalik dengan luas penampangnya. Besarnya gaya yang bekerja dibagi dengan luas penampang didefinisikan sebagai tegangan (*stress*).

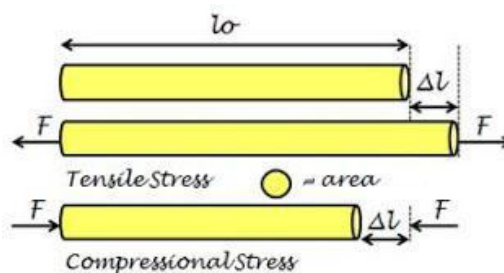
$$\sigma = \frac{F}{A} \quad \text{II. 10}$$

Dimana: σ = Tegangan (N/m² atau Pascal)

F = Gaya (N)

A = Luas penampang (m²).

Apabila gaya tersebut menyebabkan pertambahan panjang pada benda, maka disebut tegangan tensil. Sebaliknya, jika gaya menyebabkan berkurangnya panjang benda, maka disebut tegangan kompresional terlihat pada Gambar II. 6



Gambar II. 6 *Compressional dan Tensile Stress*

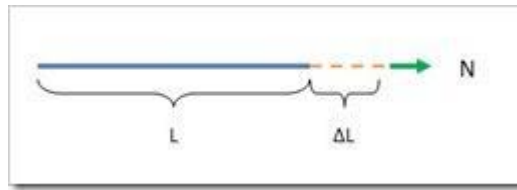
Sumber: Haryadi, 2008

Menurut Haryadi (2008) ada beberapa macam jenis tegangan meliputi tegangan normal, tegangan tarik, tegangan tekan, tegangan puntir, tegangan geser, dan tegangan lengkung.

II.5.1. Regangan

Regangan didefinisikan sebagai hasil bagi antara pertambahan panjang dengan panjang awal. Contohnya benda yang menggantung pada tali, menimbulkan gaya tarik pada tali, sehingga tali memberikan perlawanan berupa gaya dalam yang sebanding dengan berat beban yang dipikulnya (gaya aksi = reaksi). Respon perlawanan dari tali terhadap beban yang bekerja padanya akan mengakibatkan tali menegang sekaligus juga

meregang sebagai efek terjadinya pergeseran internal di tingkat atom pada partikel-partikel yang menyusun tali, sehingga tali mengalami pertambahan panjang.



Gambar II. 7 Pertambahan Panjang Internal
Sumber: Haryadi, 2008

Jika tali mengalami pertambahan sejauh ΔL dari yang semula sepanjang L , maka regangan yang terjadi pada tali merupakan perbandingan antara penambahan panjang yang terjadi terhadap panjang mula-mula dari tali dan dinyatakan seperti persamaan II. 11 sebagai berikut :

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_o} \quad \text{II. 11}$$

dimana : ε = regangan

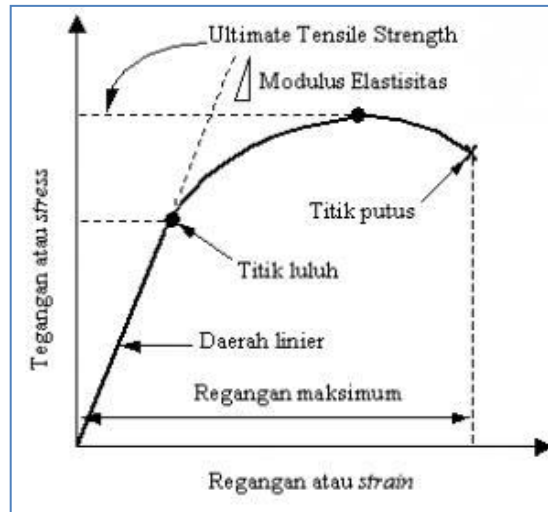
Δl = perubahan panjang (m)

l_o = panjang awal (m)

Karena pembilang dan penyebutnya memiliki satuan yang sama, maka regangan adalah sebuah nilai nisbi, yang dapat dinyatakan dalam persen dan tidak mempunyai satuan.

II.5.2. Hubungan Regangan dengan Tegangan

Hukum Hooke menunjukkan bahwa terjadi hubungan yang linear atau proporsional antara tegangan dan regangan suatu material. Dimana hubungan antara keduanya ditentukan berdasarkan nilai Modulus Elastisitas / modulus Young (E) dari masing masing material.



Gambar II. 8 Grafik Tegangan-Regangan
Sumber: Haryadi, 2008

II.5.3. Tegangan Von Mises

Tegangan von mises adalah kombinasi dari semua *stress* (tegangan normal pada tiga arah, dan tegangan geser) yang bereaksi pada tempat tertentu. Tegangan von mises cocok digunakan untuk material *ductile*. Jika tegangan von mises yang dihasilkan melebihi yields strength, maka material akan memberikan kekuatan sebesar yield strength, dan jika tegangan von mises yang dihasilkan melebihi ultimate strength nya maka material akan pecah. Tetapi kriteria nilai dari tegangan harus kurang dari *yield stress* (Hoque, 2016). Adapun rumus yang digunakan untuk mencari nilai tegangan von mises adalah seperti persamaan II.12 :

$$\sigma_{vm} = \sqrt{I_1^2 - 3I_2} \quad \text{II. 12}$$

Dimana: σ_{vm} = tegangan von mises (N/mm²)

$$I_1 = \sigma_x + \sigma_y + \sigma_z \quad \text{II. 13}$$

$$I_2 = \sigma_x\sigma_y + \sigma_y\sigma_z + \sigma_z\sigma_x - \tau_{xy}^2 - \tau_{yz}^2 - \tau_{xz}^2 \quad \text{II. 14}$$

$\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ = tegangan yang terjadi pada sumbu-x, -y, dan -z (N/mm²)

$\tau_{xy}, \tau_{yz}, \tau_{xz}$ = tegangan geser yang terjadi pada sumbu-x, -y, dan -z (N/mm²)

II.6. Poisson Number

Angka Poisson (μ) adalah angka perbandingan antara regangan horizontal (*lateral strain*) dan regangan vertikal (*axial strain*) yang disebabkan oleh beban sejajar sumbu dan regangan aksial (Yoder & Witczak, 1975). Jadi, angka poisson adalah nilai perbandingan antara regangan horizontal dan regangan vertikal. Dinyatakan dengan

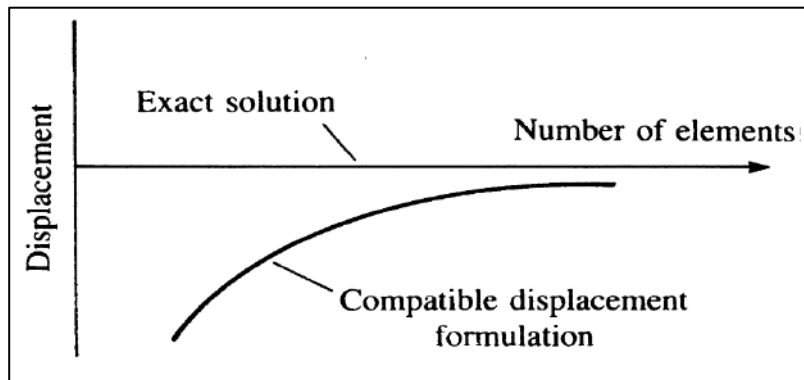
rumus pada persamaan II. 15 sebagai berikut:

$$\mu = \frac{\varepsilon_h}{\varepsilon_v} \quad \text{II. 15}$$

Dimana : μ = angka poisson
 ε_h = regangan horizontal (*lateral strain*)
 ε_v = regangan vertikal (*axial strain*)

II.7. Konvergensi

Tingkat akurasi pada proses penyelesaian analisis elemen hingga berbanding lurus terhadap bertambahnya jumlah elemen yang digunakan seperti yang ditunjukkan oleh Gambar II. 9. Namun peningkatan jumlah elemen yang digunakan juga berpengaruh terhadap jumlah waktu dan biaya yang dibutuhkan selama proses analisis (Owen, F.H., Paik, J. K, 2010). Pada banyak kasus, permasalahan ini diselesaikan melalui proses gradasi terhadap ukuran elemen untuk memperoleh hasil yang lebih mendetail pada area struktur dimana terjadi konsentrasi tegangan akibat adanya bukaan atau potongan tertentu di sekitar beban yang diaplikasikan.

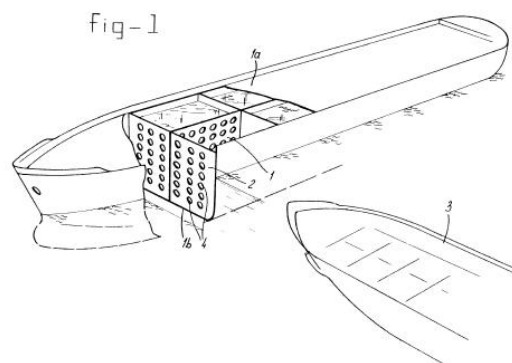


Gambar II. 9 Hubungan Antara Jumlah Elemen dan Parameter Fungsinya
Sumber: Owen & Paik, 2010

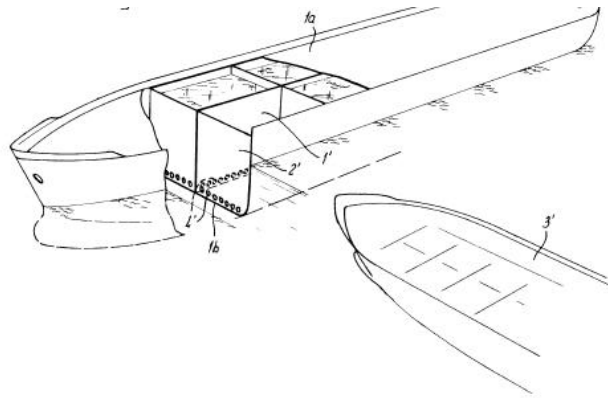
Besarnya variasi antara struktur dan beban menyebabkan sulitnya menentukan besar ukuran elemen yang dapat memberikan hasil akurasi terbaik. Pada beberapa kasus penentuan ukuran elemen didasari pada pengalaman yang ada pada kasus sebelumnya. Apabila hal ini tidak memungkinkan, maka harus dilakukan deretan proses analisis yang dilakukan pada ukuran elemen yang bervariasi sehingga diperoleh hasil konvergensi yang memuaskan.

II.8. Tinjauan Pustaka

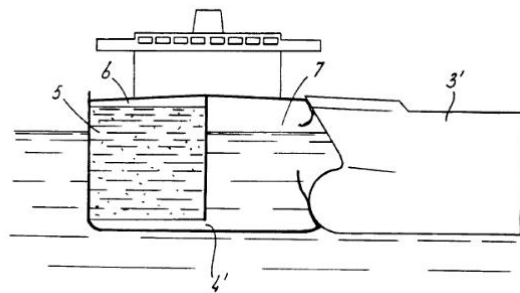
Menurut paten "*Tanker Provided with Swash Type Bulkhead*" tipe swash bulkhead dibedakan menjadi 3 berdasarkan bentuk tanki dan variasi ketinggian muatan (Laan & Markus, 1996). Tipe *swash bulkhead* tersebut adalah *full awash* (lubang tersebar di seluruh sekat) seperti Gambar II. 10, *upper part bulkhead* (lubang terletak pada bagian atas sekat) seperti Gambar II. 9, dan *lower part bulkhead* (lubang terletak pada bagian bawah sekat) seperti Gambar II. 10. Lubang yang terdapat pada sekat membuat *swash bulkhead* memiliki struktur lebih ringan daripada sekat penuh, hal ini merupakan salah satu keuntungan dari *swash bulkhead*. Laan, dan Markus juga menyebutkan keuntungan lain dari *swash bulkhead* tipe *lower part swash bulkhead* yaitu dapat meminimalisir tumpahan minyak yang keluar dari ruang muat bila terjadi collision di bagian sisi ruang muat kapal. Mereka menjelaskan hal ini terjadi karena adanya perbedaan perbedaan specific gravity antara minyak dan air laut, minyak memiliki *specific gravity* lebih kecil yaitu 0.876-0.976 dibanding dengan air laut yaitu 1.025. Perbedaan *specific gravity* menyebabkan air laut tidak bisa bercampur dengan minyak, air laut akan berada di bawah minyak sehingga ketika terjadi *collision* air laut yang akan keluar dari ruang muat kapal.



Gambar II. 10 Swash Bulkhead dengan lubang merata
Sumber: Laan & Markus, 1996



Gambar II. 11 Swash Bulkhead dengan Lubang dibawah
Sumber: Laan & Markus, 1996



Gambar II. 12 Analogi Penggunaan Swash dengan Lubang pada bagian bawah jika terjadi collision
Sumber: Laan & Markus, 1996

BAB III METODOLOGI

Metodologi penelitian menunjukkan metode-metode yang digunakan dalam menyelesaikan permasalahan pada tugas akhir ini. Pengerjaan tugas akhir ini diawali dengan perumusan masalah, penentuan pembebanan, penentuan kondisi batas, dan penyelesaian. Bab ini juga menjelaskan mengenai data-data yang digunakan dalam menganalisis tegangan yang terjadi pada *swash bulkhead* dan *longitudinal bulkhead* kapal tanker.

III.1. Studi Literatur

Studi literatur terbagi kedalam dua bagian, yaitu tinjauan pustaka dan dasar teori. Tinjauan pustaka digunakan untuk memperoleh pengalaman dari tugas akhir yang sudah dilakukan sebelumnya. Hal ini dapat berupa metode serta langkah penyelesaian masalah dan informasi yang dibutuhkan. Dasar teori berisikan pengertian dan acuan dari variabel yang digunakan dalam tugas akhir ini.

III.2. Pengumpulan Data

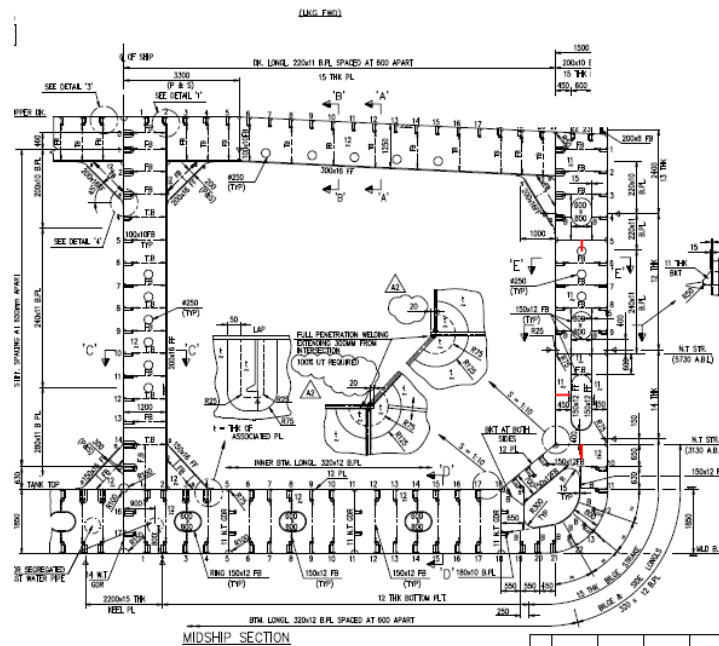
Dalam melakukan pengerjaan tugas akhir, tahap berikutnya yang perlu dilakukan adalah melakukan pengumpulan data. Tahapan ini bertujuan untuk memperoleh data primer dan/atau data sekunder yang berkaitan dengan permasalahan atau kondisi yang terjadi pada kasus yang akan dikaji dalam penelitian ini.

Kapal yang digunakan sebagai acuan dalam penelitian ini adalah kapal Tanker *double hull* 17.500 LTDW. Berikut adalah data ukuran utama kapal tersebut sesuai dengan Tabel III. 1 sebagai berikut:

Tabel III. 1 Ukuran Utama Kapal

Diskripsi	Ukuran dan Satuan	
Displacement (Δ)	17500	Ton
Length Overall (LOA)	157.50	m
Length Construction (Lpp)	149.50	m
Breadth Moulded (B)	27.70	m
Depth Moulded (D)	12.00	m

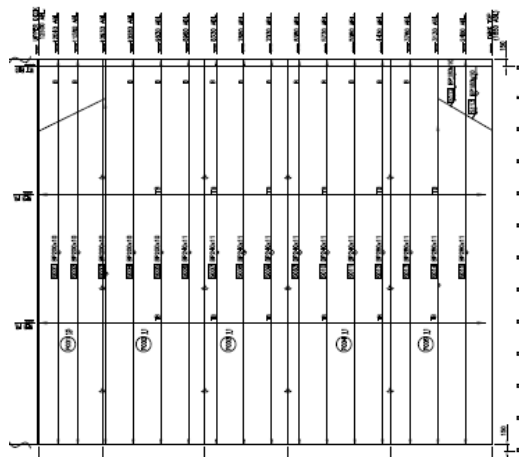
III.2.2. Gambar Penampang Melintang Kapal



Gambar III. 2 Gambar Penampang Melintang Kapal Tanker 17500 LTDW
Sumber : P.T XX, 2013

Gambar penampang melintang kapal yang ditunjukkan oleh Gambar III. 2 diperlukan untuk melihat bagaimana detail sistem konstruksi yang digunakan pada kapal tersebut, khususnya pada konstruksi *longitudinal bulkhead* yang digunakan sebagai studi kasus penelitian ini. Pada gambar terlihat jelas bahwa system konstruksi yang digunakan pada kapal adalah system konstruksi memanjang. Untuk detail konstruksi *longitudinal bulkhead* akan diperjelas pada sub-bab berikutnya.

III.2.3. Gambar Detail Longitudinal Bulkhead



Gambar III. 3 Detail Konstruksi Longitudinal Bulkhead Tampak Samping
Sumber : PT XX, 2013

Pada Gambar III. 3 menunjukkan ukuran profil penegar yang digunakan sebagai acuan dalam proses pemodelan *longitudinal bulkhead* dan *swash bulkhead*. Maka diketahui ukuran utama *longitudinal bulkhead*, yaitu seperti pada Tabel III. 2

Tabel III. 2 Ukuran Utama *Longitudinal Bulkhead*

Diskripsi	Ukuran	
Tinggi (<i>height</i>)	10.638	m
Panjang (<i>length</i>)	21	m
Tebal (<i>thickness</i>)	12	mm

Sumber : P.T XX, 2013

Selain itu berdasarkan Gambar III. 3 juga didapatkan tiga ukuran profil L sebagai pembujur dan satu ukuran profil T sebagai pelintang sekat, yaitu dengan ukuran sebagai berikut:

Tabel III. 3 Profil pada konstruksi *Longitudinal Tight Bulkhead* dan *Swash Bulkhead*

No	Jenis Profil	Ukuran Profil (mm)	Modulus Elastisitas
			x-x (cm³)
1	L	250 × 90 × 14	530
2	L	250 × 90 × 10	380
3	L	180 × 90 × 10	250
4	T	Web : 1200 × 12	3702.297
		Face : 200 × 16	

III.3. *Longitudinal Tight Bulkhead*

III.3.1. *Pre-Processor*

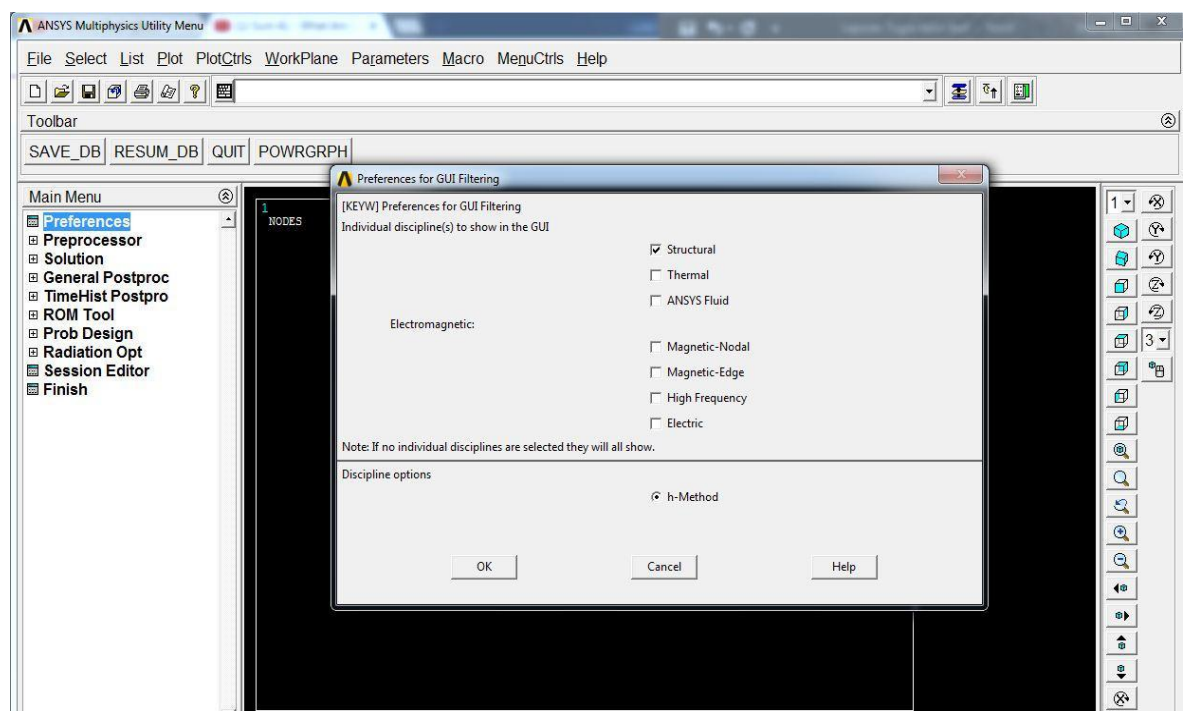
III.3.1.1 Pemodelan Konstruksi *Longitudinal Tight Bulkhead*.

Pemodelan suatu konstruksi harus dibuat sedemikian rupa sehingga model dapat mewakili kondisi yang sebenarnya. Secara umum pemodelan sebuah konstruksi dengan menggunakan *finite element software* terdiri dari beberapa tahapan. Tahapan-tahapan

tersebut harus dilakukan secara benar agar tidak terjadi kesalahan model konstruksi dan analisis yang dilakukan.

a. Tipe Analisa

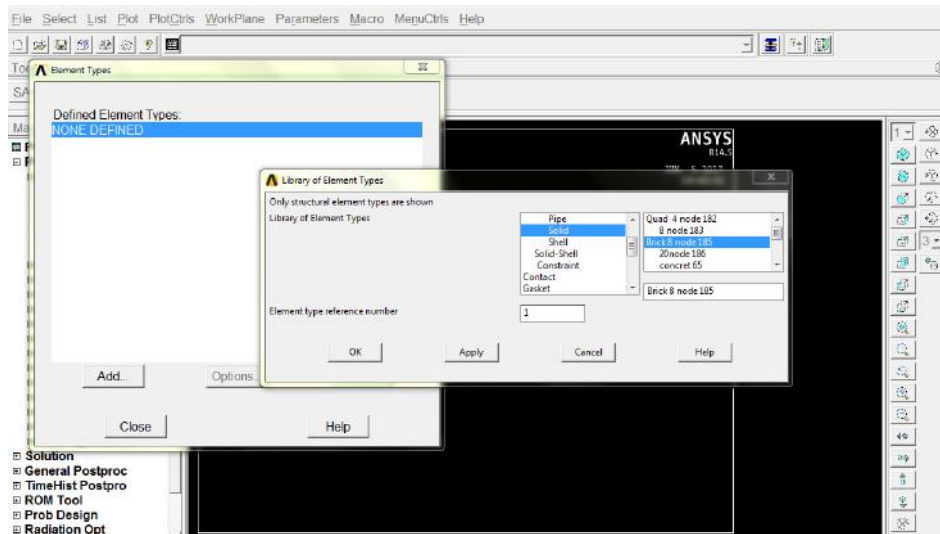
Tahapan pertama yang dilakukan dalam pembuatan model konstruksi *longitudinal tight bulkhead* adalah pemilihan tipe analisis yang dilakukan. Beberapa pilihan analisis dalam *finite element software* antara lain *structural*, *thermal*, *fluids*, dan CFD. Tipe analisis ini harus sesuai dengan analisis yang akan dilakukan. Dalam penelitian ini dipilih tipe analisis *structural* seperti pada Gambar III. 4



Gambar III. 4 Pemilihan Tipe Analisa

b. Pemilihan dan Penentuan Tipe Elemen

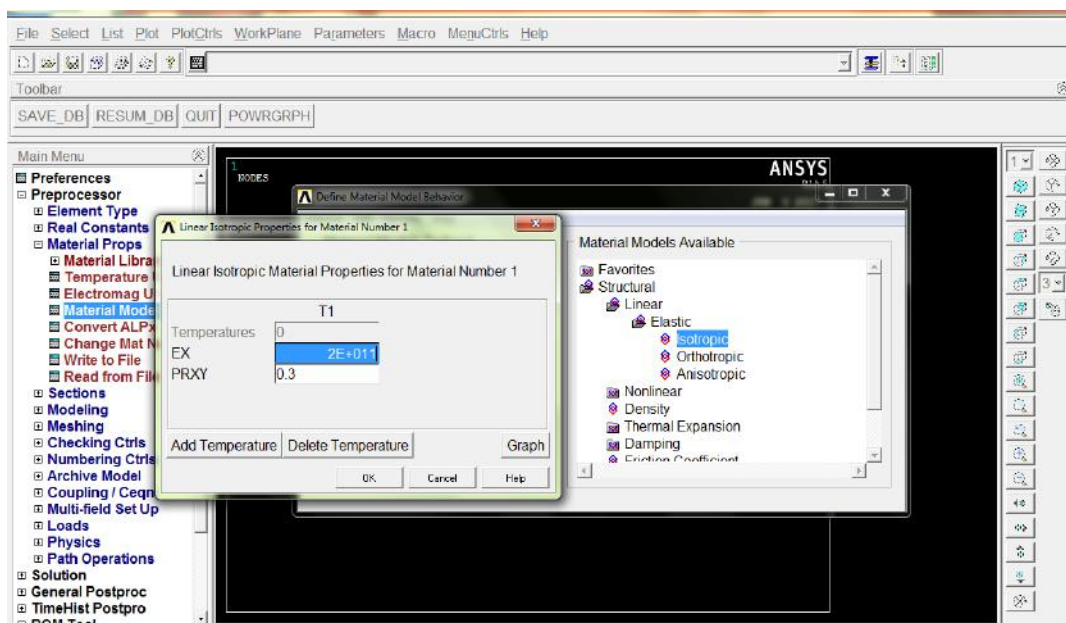
Pemilihan tipe elemen yang akan digunakan dalam pembuatan model konstruksi *longitudinal tight bulkhead* disesuaikan dengan kebutuhan penyusun konstruksi tersebut. Karena konstruksi sekat *longitudinal bulkhead* terdiri dari pelat dan profil-profil dimodelkan dalam bentuk 3D maka tipe elemen yang dipilih adalah solid 185 sesuai dengan Gambar III. 5



Gambar III. 5 Pemilihan Tipe Elemen

c. Pemilihan Sifat Material

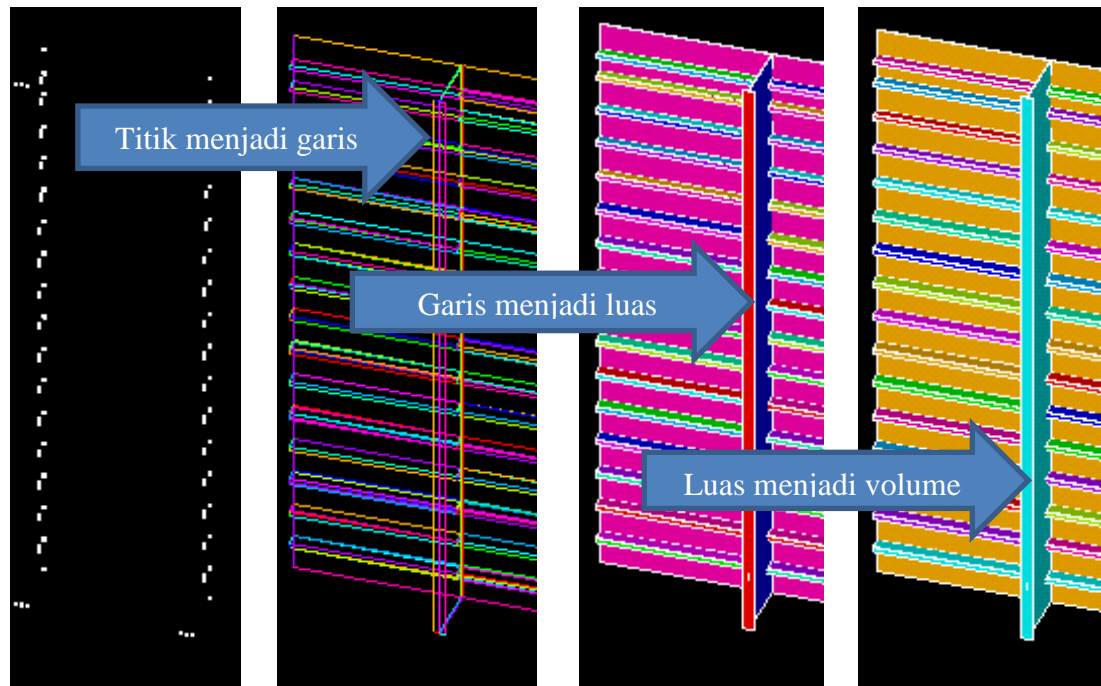
Pada tahap ini dilakukan pendefinisian sifat material yang meliputi sifat-sifat mekanis dan sifat-sifat material yang dimodelkan. Pemodelan *longitudinal bulkhead* ini menggunakan material baja A36 yang memiliki *yield stress* 235 MPa, dengan *young modulus* sebesar 200 GPa dan *poison ratio* sebesar 0.3. Sifat material yang dipilih adalah isotropik yaitu material yang dianggap seragam di seluruh arah dan bagian. Sifat-sifat material ini sebagai acuan apakah tegangan yang terjadi melebihi *yield stress* material. Pengisian sifat material dapat ditunjukkan dengan Gambar III. 6.



Gambar III. 6 Pemilihan Sifat Material

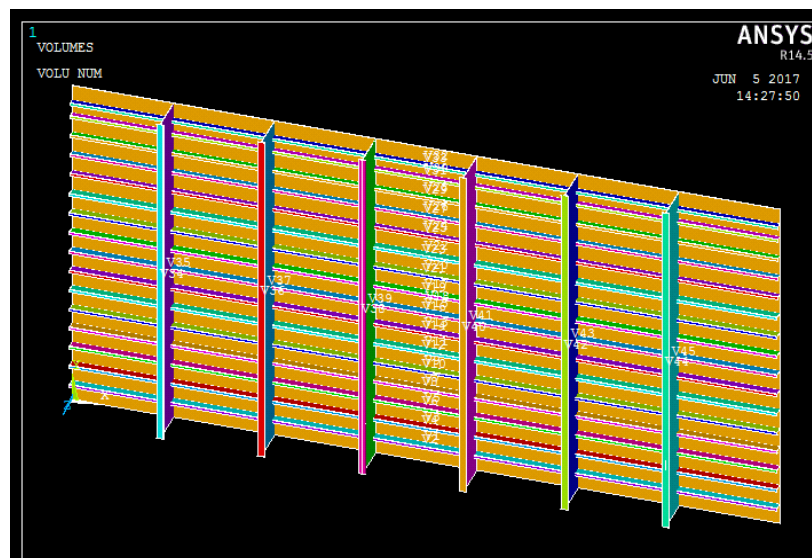
d. Pemodelan Pelat dan Profil

Pembuatan model pelat dan profil dilakukan dengan menggunakan cara *Bottom-Up* yaitu pemodelan yang dimulai dari titik-titik hingga menjadi volume. Model pelat dimodelkan dengan *existing* data kapal yang telah dicantumkan pada sub-bab III.2. Proses pemodelan ditunjukkan lebih jelas pada Gambar III. 7



Gambar III. 7 Proses pembuatan model *longitudinal bulkhead*

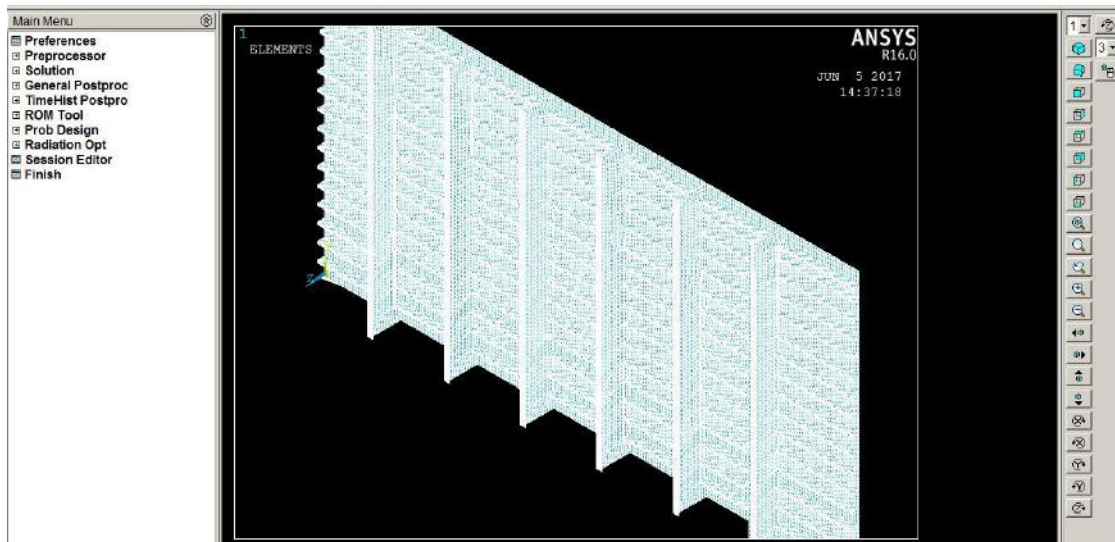
Pada Gambar III. 8 menunjukkan model *longitudinal tight bulkhead* yang telah dimodelkan menggunakan *finite element software*.



Gambar III. 8 Model Longitudinal Tight Bulkhead

e. Meshing

Meshing digunakan untuk menghasilkan elemen dan nodal dari model yang dibangun. Meshing pada pemodelan ini menggunakan *hexahedral element solution*. Elemen dan nodal yang dihasilkan mewakili sifat dari tipe elemen, sifat material, dan bentuk pelat yang telah dilakukan pada tahap awal permodelan. Tahap meshing merupakan tahap terakhir dari *pre-processing*. Hasil *meshing* untuk *longitudinal tight bulkhead* dapat ditunjukkan pada Gambar III. 9.



Gambar III. 9 Hasil Meshing Longitudinal Tight Bulkhead

III.3.2.Solver

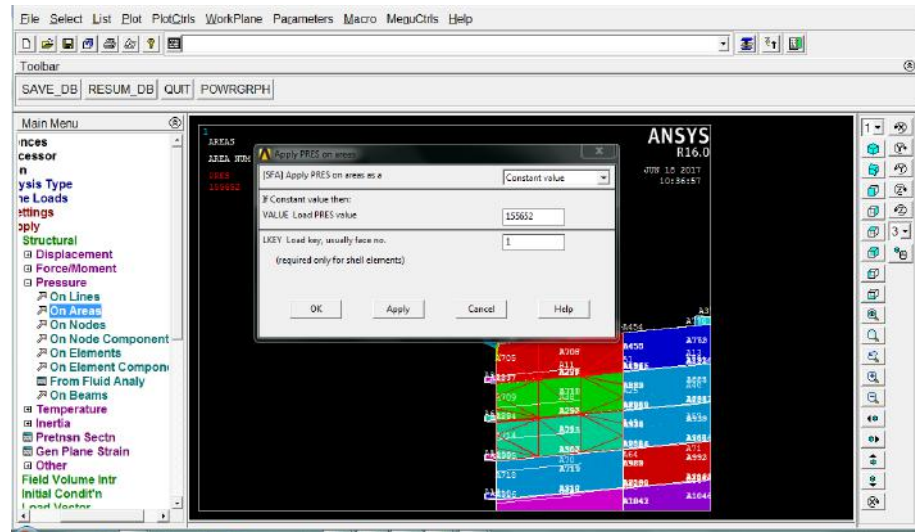
III.3.2.1. Pembebanan

Berdasarkan rumus pada sub-bab II.2.1 tentang *sloshing pressure* arah vertikal pada tight bulkhead maka didapatkan hasil beban sebesar 155.652 kN/m^2 , sehingga besar beban untuk pembebanan ditunjukkan oleh Tabel III. 4

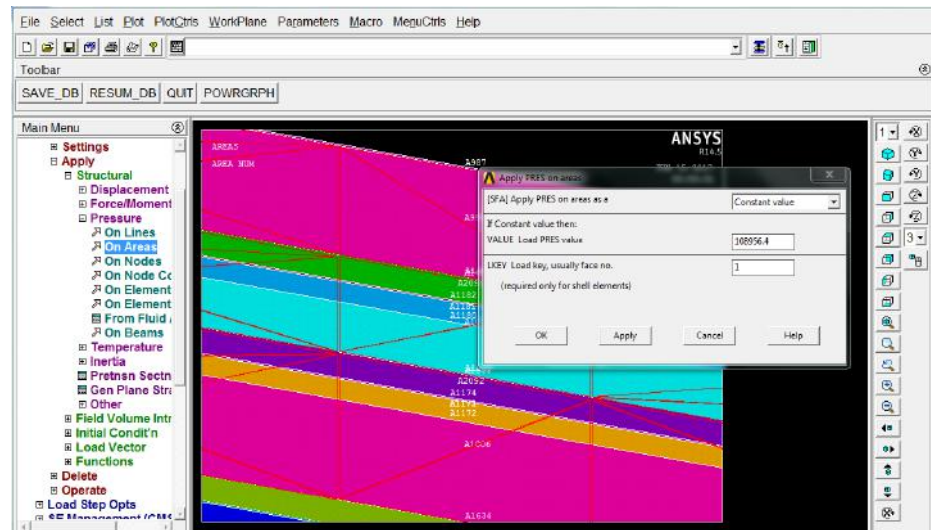
Tabel III. 4 *Sloshing Pressure* yang Diaplikasikan Pada Longitudinal Tight Bulkhead

Tipe Sekat	Bagian Panel (kN/m^2)	Bagian Berpenegar (kN/m^2)
<i>Tight Bulkhead</i>	155.652	108.9564

Beban bagian panel diaplikasikan pada bagian pelat luar *longitudinal tight bulkhead*, dan beban bagian berpenegar diaplikasikan pada bagian *longitudinal tight bulkhead* yang berpenegar ditunjukkan seperti Gambar III. 10 dan Gambar III. 11



Gambar III. 10 Input Beban Bagian Panel/Pelat Tanpa Penegar



Gambar III. 11 Input Beban Untuk Pelat Berpenegar

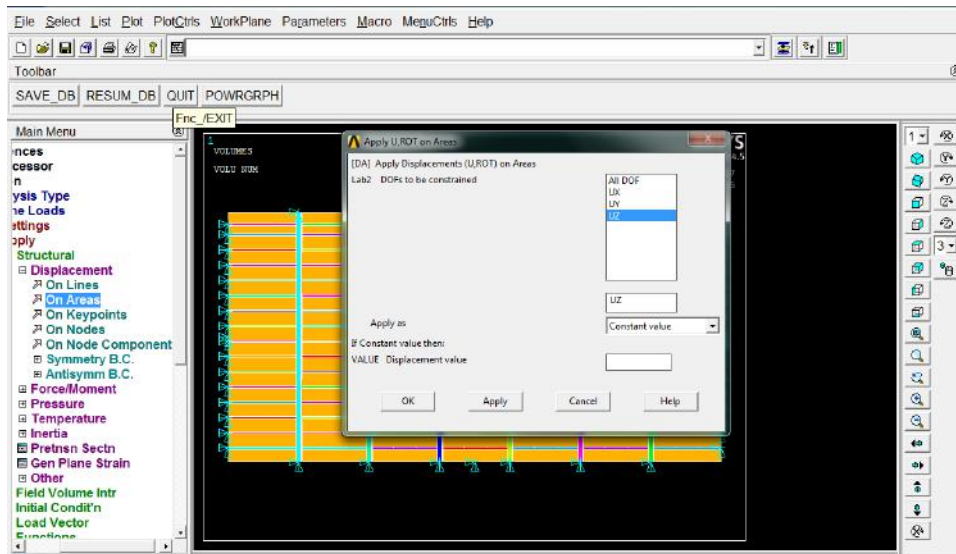
III.3.2.2. Pemilihan Kondisi Batas

Berdasarkan sub-bab II.3 tipe elemen yang digunakan adalah solid 185 (8 nodes) yang mana memiliki 3 derajat kebebasan sehingga kondisi batas pada model *longitudinal tight bulkhead* ditunjukkan oleh Tabel III. 5

Tabel III. 5 Arah Pengikatan Kondisi Batas

Kondisi Batas	Translasi		
	UX	UY	UZ
	Fix	Fix	Fix

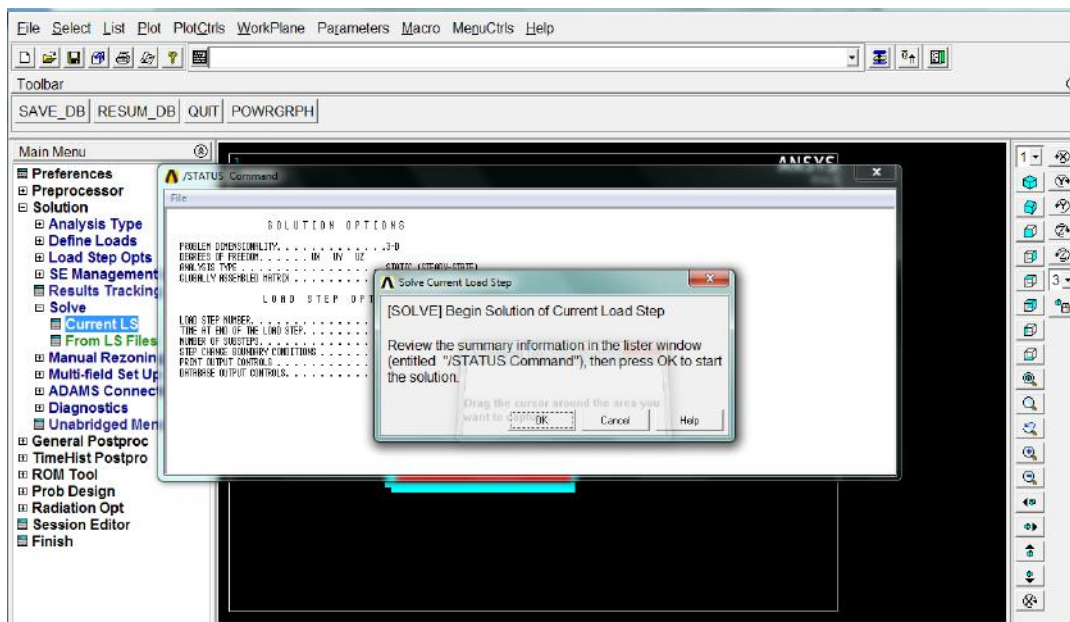
Berdasarkan Tabel III. 4 dapat diaplikasikan pada model yang akan dianalisis menggunakan *finite element software* yang ditunjukkan Gambar III. 12.



Gambar III. 12 Pengaplikasian Kondisi Batas Pada *Finite Element Software*

III.3.2.3. Analisis

Tahap terakhir dari tahapan solver adalah analisis. Setelah pemberian beban dan kondisi batas pada model maka model *longitudinal tight bulkhead* siap untuk dianalisis ditunjukkan seperti Gambar III. 13

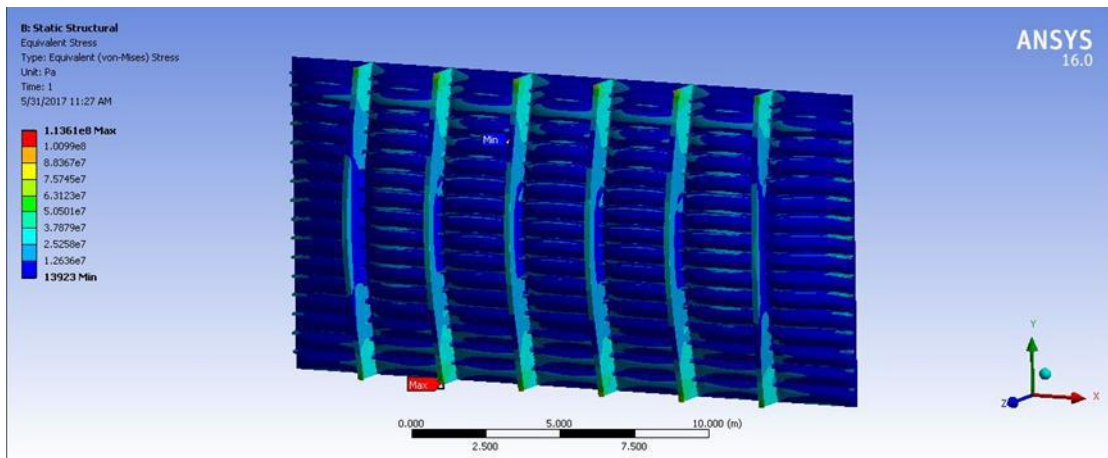


Gambar III. 13 Proses Solve Pada *Finite Element Software*

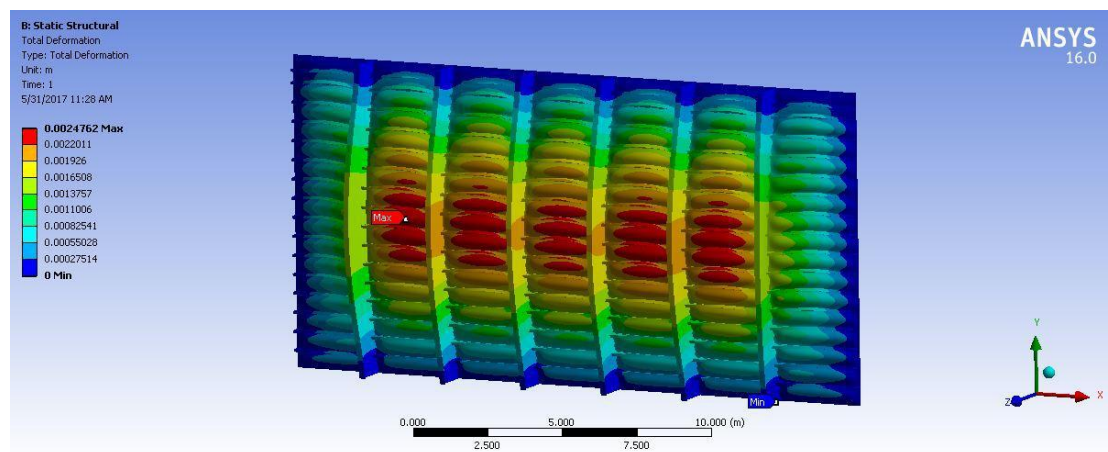
III.3.3. Post-Processor

Post-processor menunjukkan hasil dari proses solver, yang mana akan menghasilkan tegangan dan deformasi dari *longitudinal tight bulkhead* dan selanjutnya akan

dianalisis. Hasil dari proses *post-processor* dapat dilihat pada Gambar III. 14 dan pada Gambar III. 15.



Gambar III. 14 Hasil Stress pada *Longitudinal Tight Bulkhead*



Gambar III. 15 Hasil Deformation pada *Longitudinal Tight Bulkhead*

III.4. *Longitudinal Swash Bulkhead*

III.4.1. *Pre-processor*

III.4.1.1 Pemodelan *Longitudinal Swash Bulkhead*

Pemodelan *longitudinal swash bulkhead* berbeda dengan pemodelan *longitudinal tight bulkhead* karena pada proses pemodelan *longitudinal swash bulkhead* diperlukan penentuan ukuran lubang, dan total persentase luasan lubang terhadap *bulkhead* seperti di bahas pada sub-bab I.4 yaitu dengan diameter lingkaran 200 mm, 300 mm, dan 400 mm dan total luasan lubang 6%, 8%, 10% dari total luas *bulkhead*.

a. Tipe Analisa

Tipe analisis yang digunakan pada proses pemodelan *longitudinal swash bulkhead* sama dengan tipe analisis pada sub-bab III.3 yaitu tipe analisis *structural*.

b. Pemilihan dan Penentuan Tipe Elemen

Pemilihan dan penentuan tipe elemen pada pemodelan *longitudinal swash bulkhead* sama dengan tipe elemen pada sub-bab III.3 yaitu tipe analisis yaitu tipe elemen solid185 (8 nodes).

c. Pemilihan Sifat Material

Pemilihan sifat material pada pemodelan *longitudinal swash bulkhead* sama dengan tipe analisis pada sub-bab III.3 yaitu dengan nilai *yield stress* 235 MPa, *young modullus* sebesar 200 GPa, dan *poison ratio* sebesar 0.3.

d. Pemodelan Pelat dan Profil

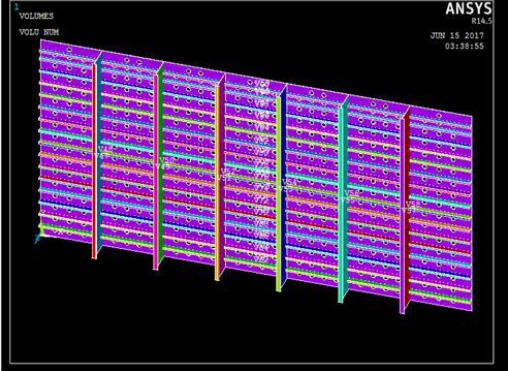
Pembuatan model pelat dan profil dilakukan dengan menggunakan cara *Bottom-Up* yaitu pemodelan yang dimulai dari titik-titik hingga menjadi volume. Model pelat dimodelkan dengan *existing* data kapal yang telah dicantumkan pada sub bab III.2. Pemodelan dilakukan 9 kali, dengan rincian sebagai berikut:

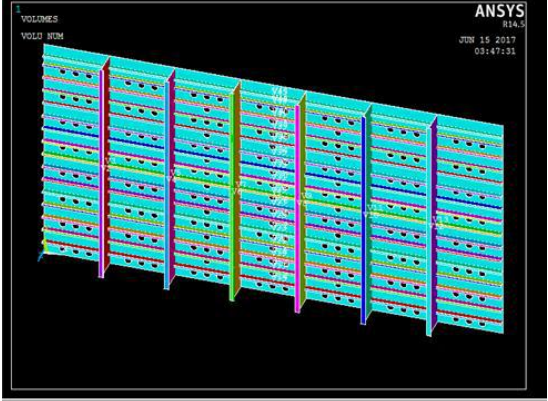
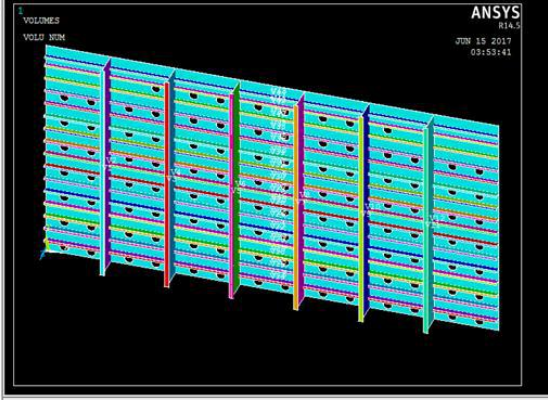
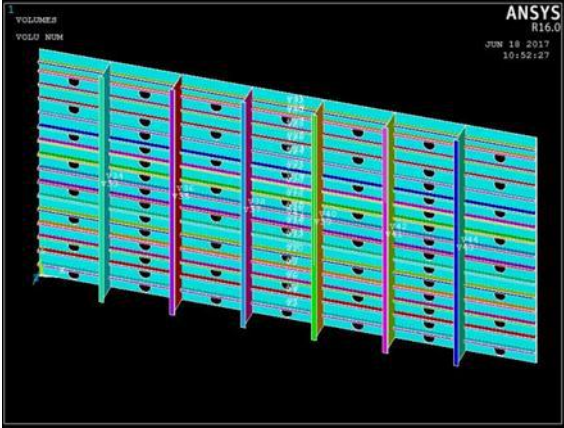
1. Total Luasan Lubang 6% dari Total Luas *Bulkhead*

$$\text{Luas Bulkhead} = P \times t = 21 \times 10.638 = 223.398 \text{ m}^2$$

$$6\% \text{ dari Luas Bulkhead} = 6\% \times 223.398 = 13.40388 \text{ m}^2$$

Tabel III. 6 Perhitungan Jumlah Lubang Swash Bulkhead Total Luasan 6%

Total Luasan 6%		
Diameter (mm)	Perhitungan Jumlah Lubang	Jumlah Lubang
200	$A = \pi r^2 = \pi \times 0.01^2$ $= 0.031429 \text{ m}^2$ <p><i>jumlah lingkaran</i></p> $= \frac{13.40388}{0.031429}$ $= 426.4871$	 <p>Gambar III. 16 Model <i>swash</i> D= 200mm luasan 6% Jumlah Lubang 426 buah</p>

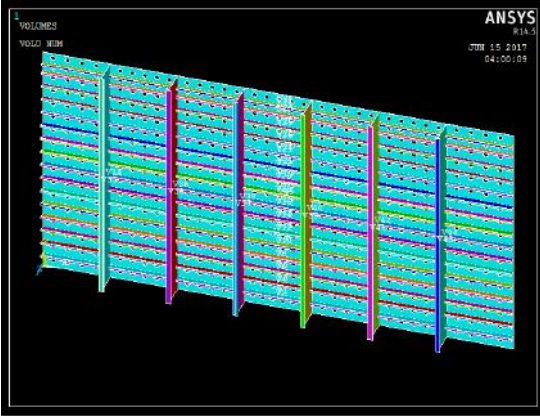
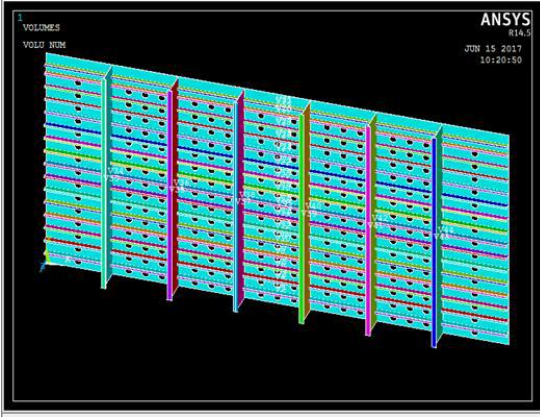
Total Luasan 6%		
Diameter (mm)	Perhitungan Jumlah Lubang	Jumlah Lubang
300	$A = \pi r^2$ $= \pi \times 0.015^2 a$ $= 0.070714 \text{ m}^2$ <i>jumlah lingkaran</i> $= \frac{13.4088}{0.070714}$ $= 189.5498$	 <p>Gambar III. 17 Model swash D=300mm luasan 6% Jumlah lubang 190 buah</p>
400	$A = \pi r^2$ $= \pi \times 0.02^2$ $= 0.125714 \text{ m}^2$ <i>jumlah lingkaran</i> $= \frac{13.4088}{0.125714}$ $= 106.6218$	 <p>Gambar III. 18 Model swash D=400mm luasan 6% Jumlah lubang 107 buah</p>
500	$A = \pi r^2 = \pi \times 0.05^2$ $= 0.196429 \text{ m}^2$ <i>jumlah lingkaran</i> $= \frac{13.4088}{0.196429}$ $= 68.23793$	 <p>Gambar III. 19 Model swash D=500mm luasan 6% Jumlah lubang 68 buah</p>

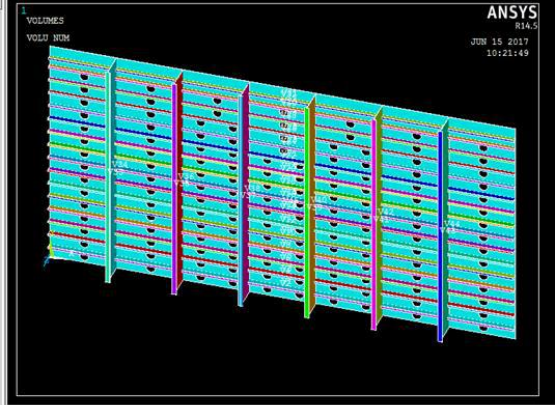
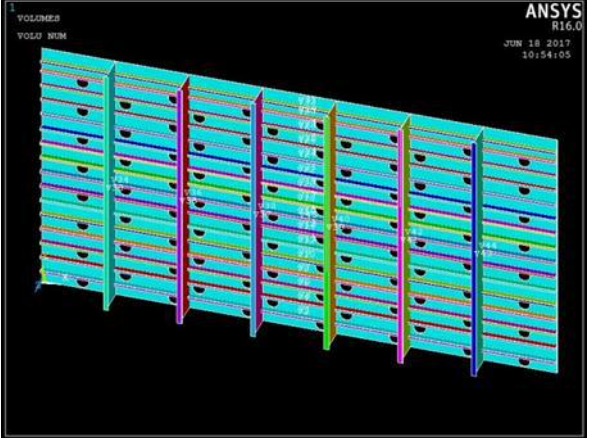
2. Total Luasan Lubang 8% dari Total Luas *Bulkhead*

$$\text{Luas Bulkhead} = P \times t = 21 \times 10.638 = 223.398 \text{ m}^2$$

$$8\% \text{ dari Luas Bulkhead} = 6\% \times 223.398 = 17.87184 \text{ m}^2$$

Tabel III. 7 Perhitungan Jumlah Lubang Swash Bulkhead Total Luasan 8%

Total Luasan 8%		
Diameter (mm)	Perhitungan Jumlah Lubang	Jumlah Lubang
200	$A = \pi r^2$ $= \pi \times 0.01^2$ $= 0.031429 \text{ m}^2$ <p><i>jumlah lingkaran</i></p> $= \frac{17.87184}{0.031429} = 568.6495$	 <p>Gambar III. 20 Model <i>swash</i> D=200mm luasan 8% Jumlah Lubang 569 buah</p>
300	$A = \pi r^2$ $= \pi \times 0.015^2$ $= 0.070714 \text{ m}^2$ <p><i>jumlah lingkaran</i></p> $= \frac{17.87184}{0.070714} = 252.7331$	 <p>Gambar III. 21 Model <i>swash</i> D=300mm luasan 8% Jumlah lubang 253 buah</p>

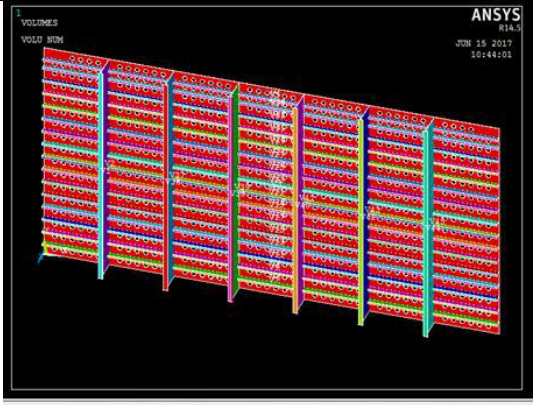
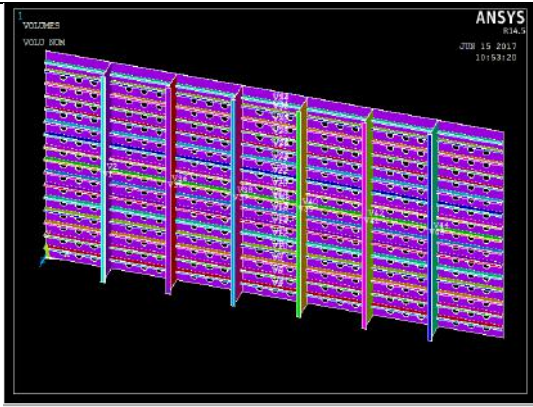
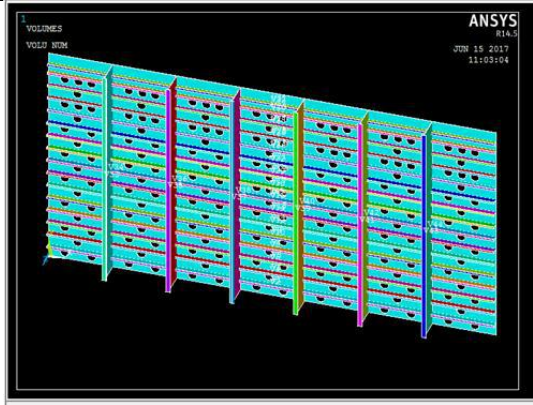
Total Luasan 8%		
Diameter (mm)	Perhitungan Jumlah Lubang	Jumlah Lubang
400	$A = \pi r^2$ $= \pi \times 0.02^2$ $= 0.125714 \text{ m}^2$ <p><i>jumlah lingkaran</i></p> $= \frac{17.87184}{0.125714} = 142.1624$	 <p>Gambar III. 22 Model <i>swash</i> D=400mm luasan 8% Jumlah lubang 142 buah</p>
500	$A = \pi r^2$ $= \pi \times 0.05^2$ $= 0.196429 \text{ m}^2$ <p><i>jumlah lingkaran</i></p> $= \frac{17.87184}{0.196429} = 90.98391$	 <p>Gambar III. 23 Model <i>swash</i> D=500mm luasan 8% Jumlah lubang 91 buah</p>

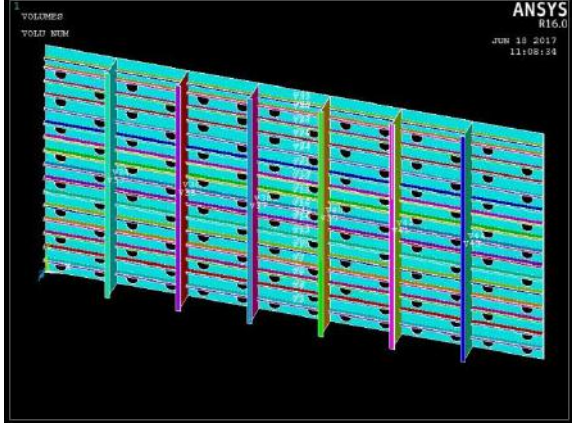
3. Total Luasan Lubang 10% dari Total Luas *Bulkhead*

$$\text{Luas Bulkhead} = P \times t = 21 \times 10.638 = 223.398 \text{ m}^2$$

$$10\% \text{ dari Luas Bulkhead} = 6\% \times 223.398 = 22.398 \text{ m}^2$$

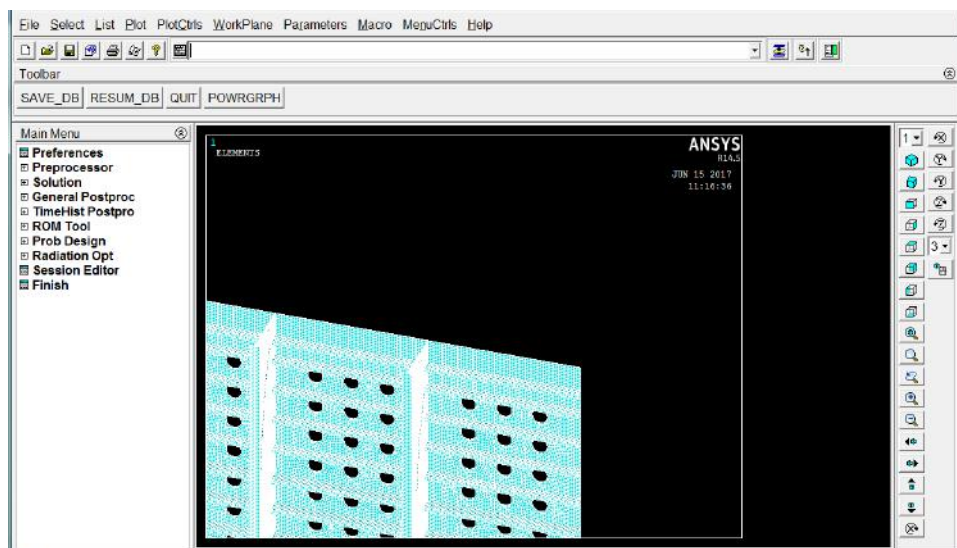
Tabel III. 8 Perhitungan Jumlah Lubang Swash Bulkhead Total Luasan 10%

Total Luasan 10%		
Diameter (mm)	Perhitungan Jumlah Lubang	Jumlah Lubang
200	$A = \pi r^2$ $= \pi \times 0.01^2$ $= 0.031429 \text{ m}^2$ <p><i>jumlah lingkaran</i></p> $= \frac{22.398}{0.031429} = 710.8118$	 <p>Gambar III. 24 Model swash D=200mm luasan 10% Jumlah Lubang 711 buah</p>
300	$A = \pi r^2$ $= \pi \times 0.015^2$ $= 0.070714 \text{ m}^2$ <p><i>jumlah lingkaran</i></p> $= \frac{22.3398}{0.070714} = 315.9164$	 <p>Gambar III. 25 Model swash D=300mm luasan 10% Jumlah lubang 316 buah</p>
400	$A = \pi r^2$ $= \pi \times 0.02^2$ $= 0.125714 \text{ m}^2$ <p><i>jumlah lingkaran</i></p> $= \frac{22.3398}{0.125714} = 177.703$	 <p>Gambar III. 26 Model swash D=400mm luasan 10% Jumlah lubang 142 buah</p>

Total Luasan 10%		
Diameter (mm)	Perhitungan Jumlah Lubang	Jumlah Lubang
500	$A = \pi r^2$ $= \pi \times 0.05^2$ $= 0.196429 \text{ m}^2$ <p><i>jumlah lingkaran</i></p> $= \frac{23.3398}{0.196429} = 113.729$	 <p>Gambar III. 27 Model swash D=500mm luasan 10% Jumlah lubang 91buah</p>

e. Meshing

Meshing digunakan untuk menghasilkan elemen dan nodal dari model yang dibangun. Meshing pada pemodelan ini menggunakan *hexahedral element solution*. Elemen dan nodal yang dihasilkan mewakili sifat dari tipe elemen, sifat material, dan bentuk pelat yang telah dilakukan pada tahap awal permodelan. Tahap meshing merupakan tahap terakhir dari *pre-processing*. Hasil meshing pada *longitudinal swash bulkhead* dapat ditunjukkan oleh Gambar III. 28



Gambar III. 28 Hasil Meshing *Longitudinal Swash Bulkhead*

III.4.2.Solver

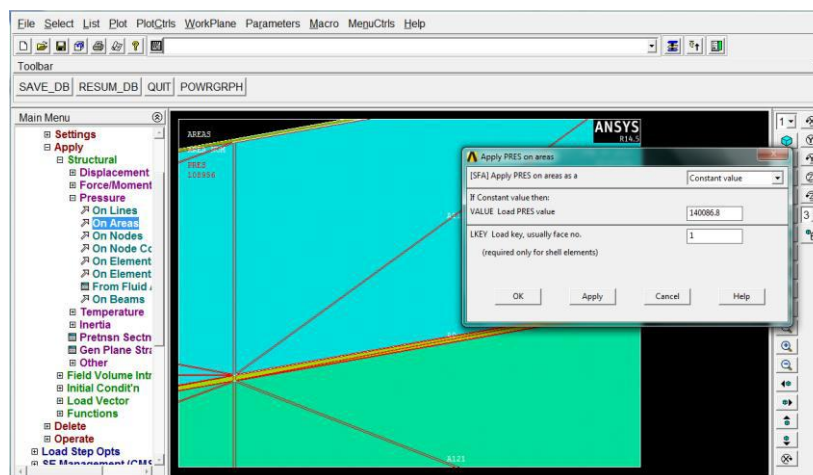
III.4.2.1. Pembebanan

Berdasarkan rumus pada sub bab II.2.1 tentang *sloshing pressure* arah vertikal pada *swash bulkhead* maka didapatkan hasil beban maksimum sebesar 61.698 kN/m². Menurut pembebanan yang dibahas pada sub-bab II.2.1 maka beban yang akan diaplikasikan adalah 100% dari maksimum beban untuk panel/pelat terluar dan 70% beban maksimum untuk pelat berpenegar. Sehingga di dapat beban yang akan diaplikasikan seperti Tabel III. 9.

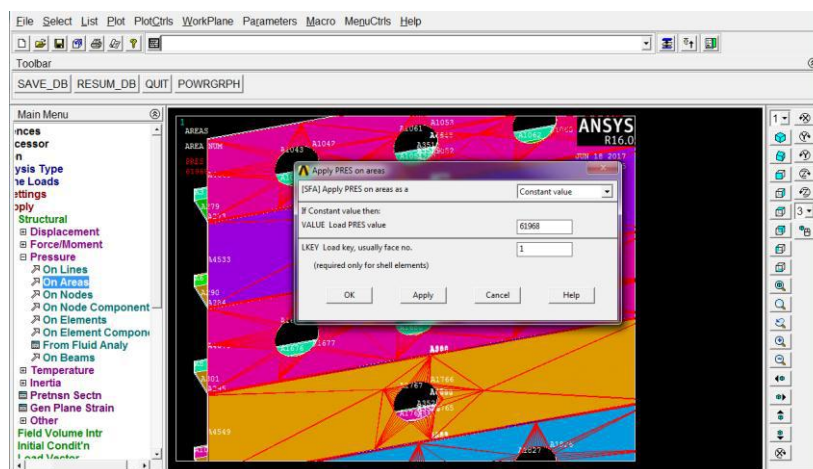
Tabel III. 9 *Sloshing Pressure* yang Diaplikasikan pada *Swash Bulkhead*

Tipe Sekat	Bagian Panel (kN/m ²)	Bagian Berpenegar (kN/m ²)
Swash Bulkhead	61.968	43.3776

Untuk pengaplikasian nya pada *finite element software* dapat ditunjukkan pada Gambar III. 29 dan Gambar III. 30



Gambar III. 29 Input Beban untuk Pelat Berpenegar



Gambar III. 30 Input Beban untuk Pelat Tanpa Penegar

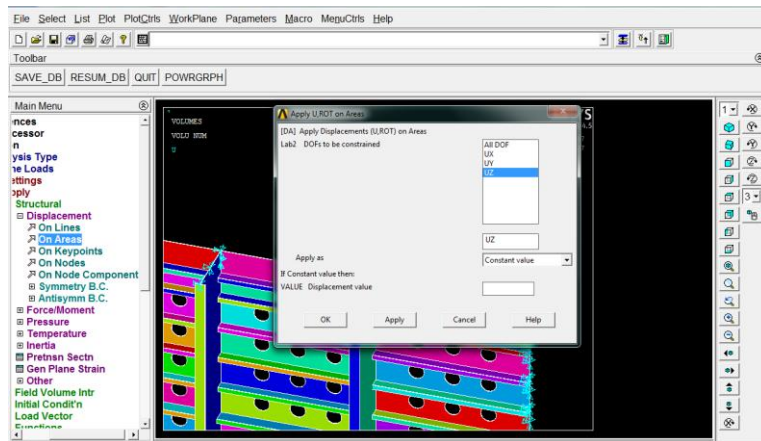
II.4.2.2. Pemilihan Kondisi Batas

Kondisi batas pada pemodelan *longitudinal swash bulkhead* sama dengan pemodelan *longitudinal tight bulkhead* seperti pada sub-bab III.3.2. Sehingga kondisi batas yang diaplikasikan ditunjukkan oleh Tabel III. 7.

Tabel III. 10 Arah Pengikatan Kondisi Batas

Kondisi Batas	Translasi		
	UX	UY	UZ
Fix	Fix	Fix	Fix

Berdasarkan Tabel III. 10 dapat diaplikasikan pada model yang akan dianalisis menggunakan *finite element software* yang ditunjukkan Gambar III. 31 sebagai berikut.



Gambar III. 31 Pengaplikasian Kondisi Batas pada Finite Element Software

III.4.2.3. Analisis

Tahap terakhir dari tahapan *solver* adalah analisis. Setelah pemberian beban dan kondisi batas pada model maka model *longitudinal swash bulkhead* siap untuk di *solve* atau di *run*.

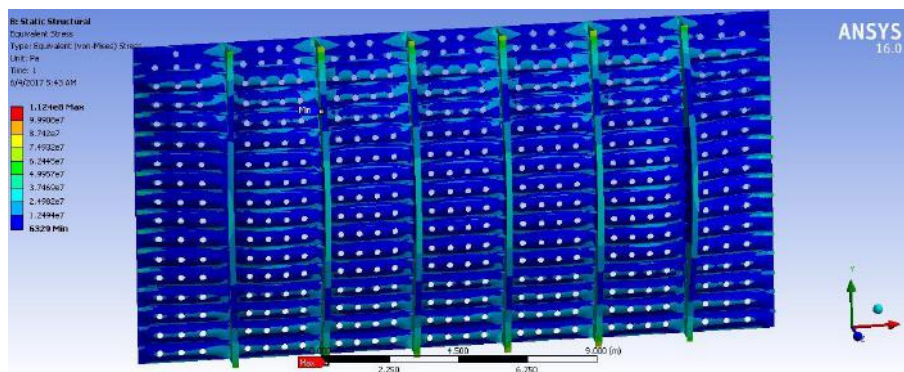


Gambar III. 32 Proses Solve pada Finite Element Software

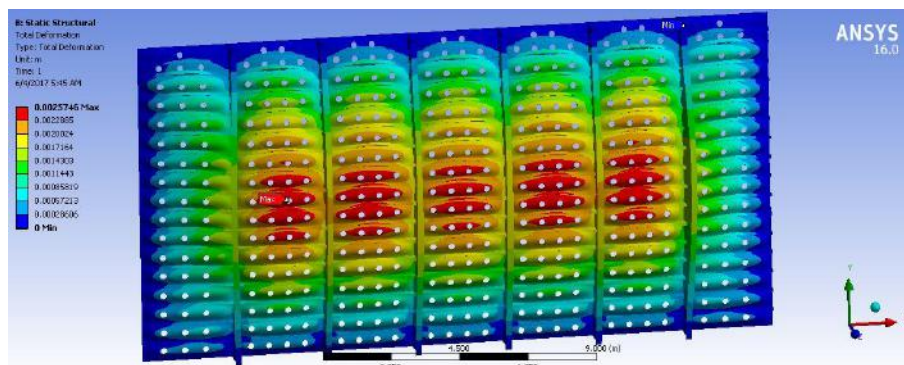
Gambar III. 32 merupakan gambar yang menunjukkan proses analisis pada *finite element software* yang mana dari proses ini akan menghasilkan persamaan-persamaan untuk menghasilkan *stress*.

III.4.3. Post-Processor

Post-processor menunjukkan hasil dari proses analisis yang mana akan menghasilkan nilai *stress* dan nilai *deformation* dari *longitudinal swash bulkhead* atau dengan kata lain pembacaan hasil terlihat seperti Gambar III. 33 untuk hasil *stress* dan Gambar III. 34 untuk hasil *deformation*.



Gambar III. 33 Hasil *stress* pada Salah Satu *Longitudinal Swash Bulkhead*

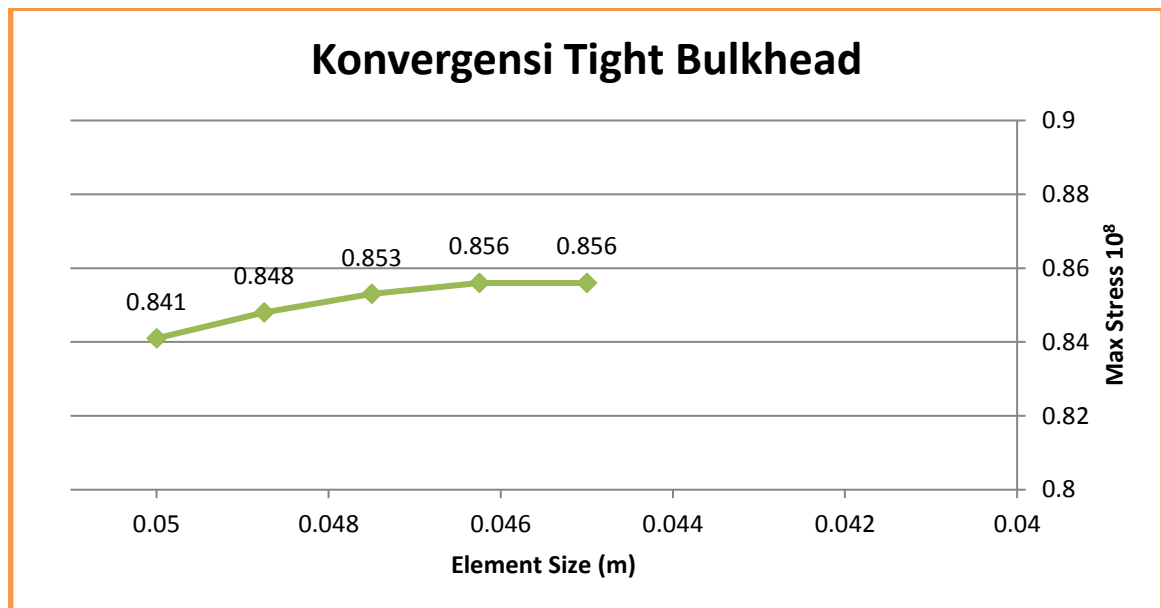


Gambar III. 34 Hasil *deformation* pada Salah Satu *Longitudinal Swash Bulkhead*

III.5. Konvergensi Model

Seperti yang telah dijelaskan pada sub-bab II.7, digunakan perbandingan antara jumlah elemen dengan nilai *stress*. Konvergensi model pada tugas akhir ini menggunakan perbandingan antara ukuran elemen dengan nilai *stress*. Diketahui bahwa perbandingan antara jumlah elemen dan ukuran elemen adalah berbanding lurus, yaitu semakin kecil ukuran elemen maka jumlah elemen juga akan semakin banyak.

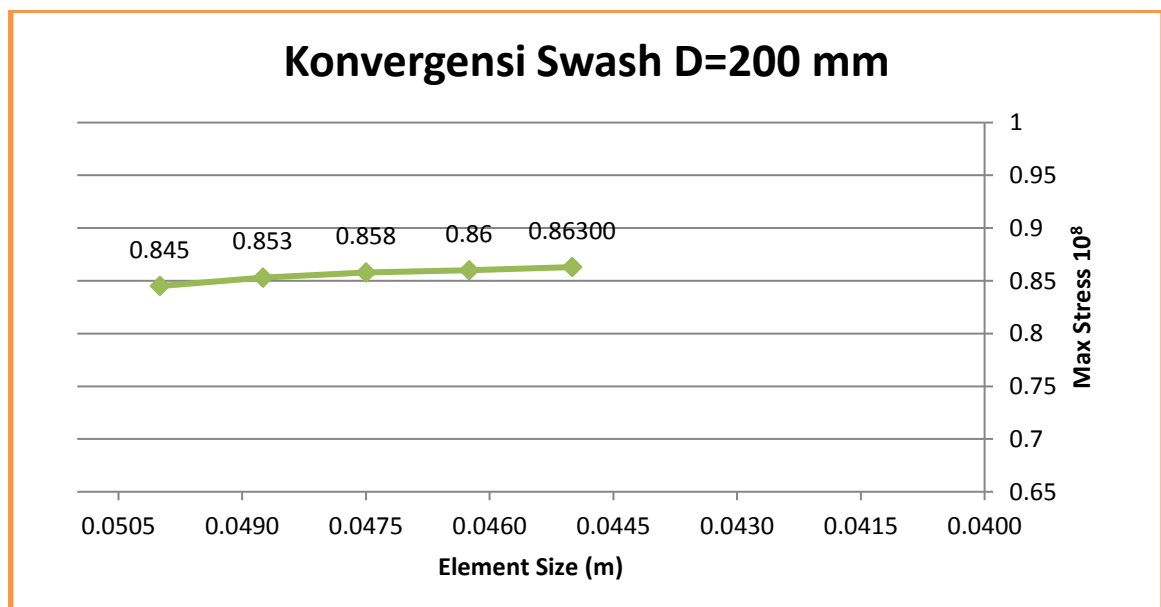
Konvergensi model ditunjukkan oleh Gambar III. 35 sampai dengan Gambar III. 47 sebagai berikut.



Gambar III. 35 Grafik Hasil Konvergensi pada *Longitudinal Tight Bulkhead*

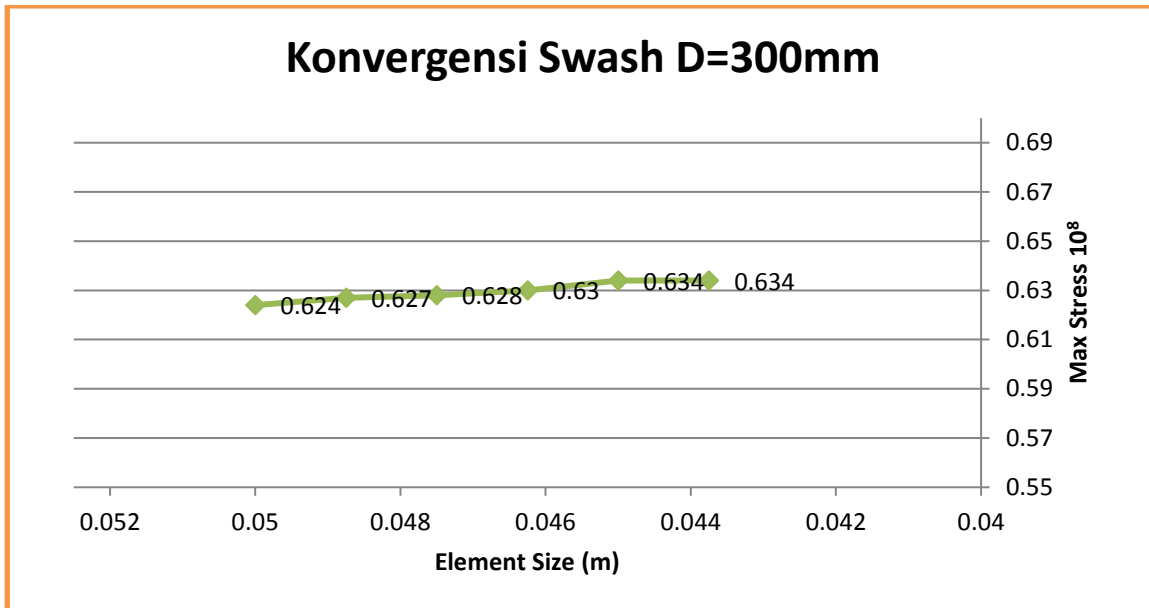
Dari Gambar III. 35 didapatkan ukuran meshing yang digunakan untuk pemodelan yaitu 0.04625 m.

1. Konvergensi untuk *longitudinal swash bulkhead* dengan total luasan 6%



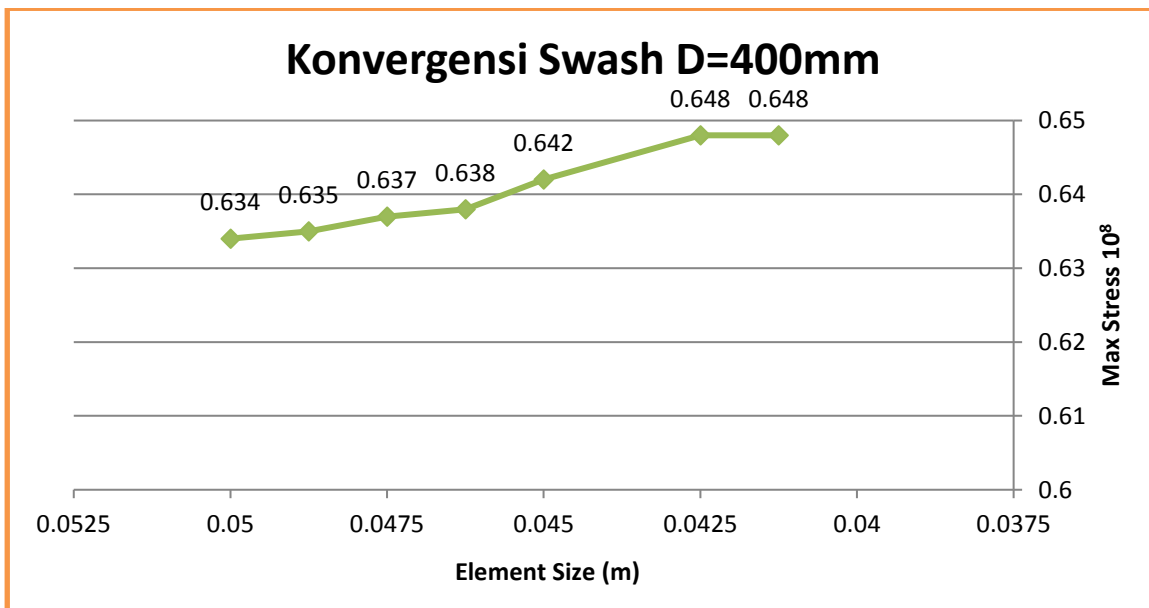
Gambar III. 36 Grafik Hasil Konvergensi pada *Longitudinal Swash Bulkhead Dengan D=200mm*

Dari Gambar III. 36 didapatkan ukuran meshing yang digunakan untuk pemodelan yaitu 0.04625 m



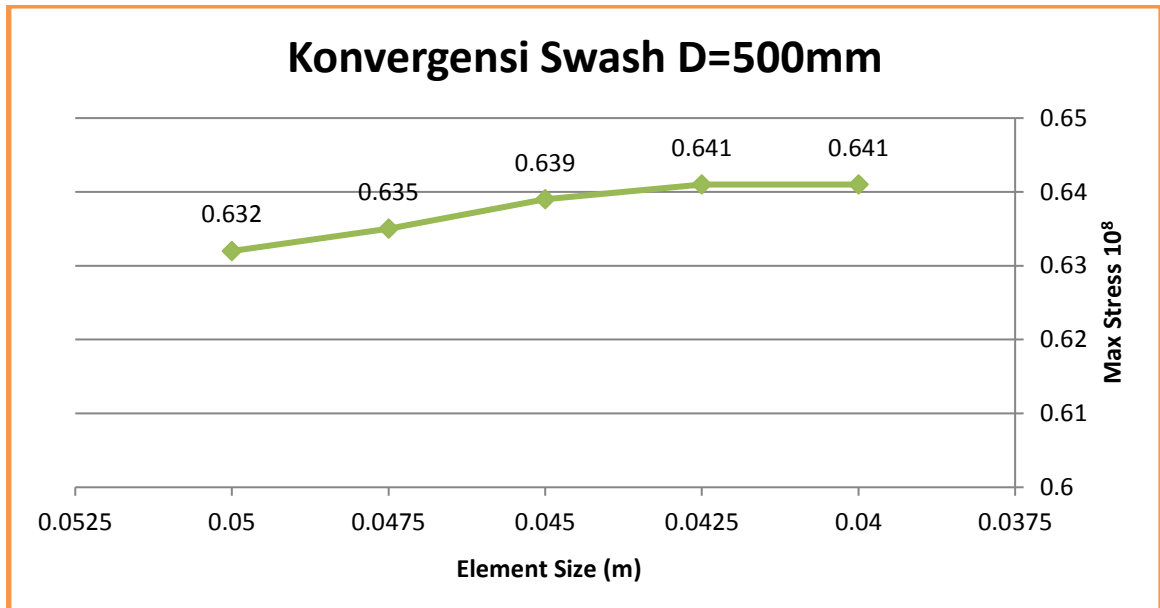
Gambar III. 37 Grafik Hasil Konvergensi pada *Longitudinal Swash Bulkhead* Dengan D=300mm

Dari Gambar III. 37 didapatkan ukuran meshing yang digunakan untuk pemodelan yaitu 0.045 m.



Gambar III. 38 Grafik Konvergensi pada *Longitudinal Swash Bulkhead* Dengan D=400mm

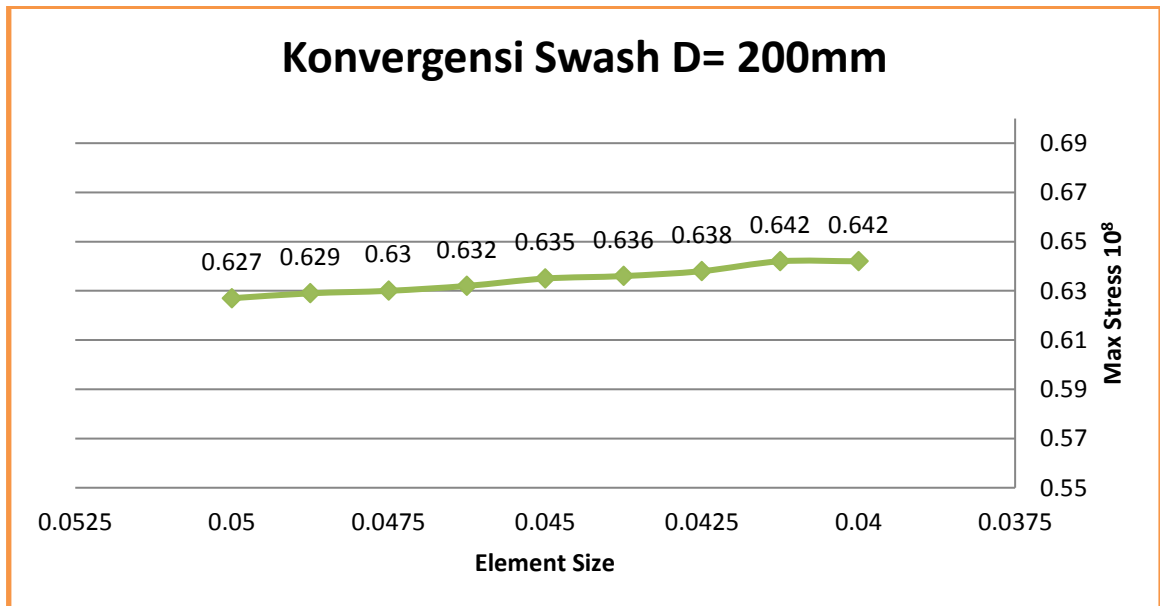
Dari Gambar III. 38 didapatkan ukuran meshing yang digunakan untuk pemodelan yaitu 0.0425 m.



Gambar III. 39 Grafik Konvergensi pada *Longitudinal Swash Bulkhead* Dengan $D=500\text{mm}$

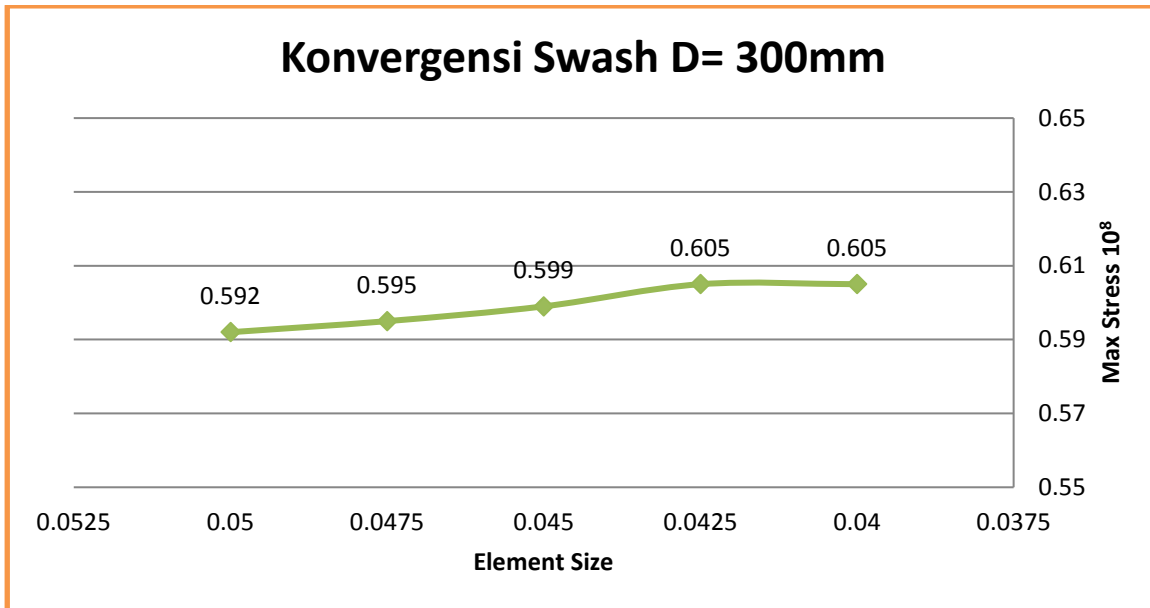
Dari Gambar III. 39 didapatkan ukuran meshing yang digunakan untuk pemodelan yaitu 0.0425 m.

2. Konvergensi untuk *longitudinal swash bulkhead* dengan total luasan 8%



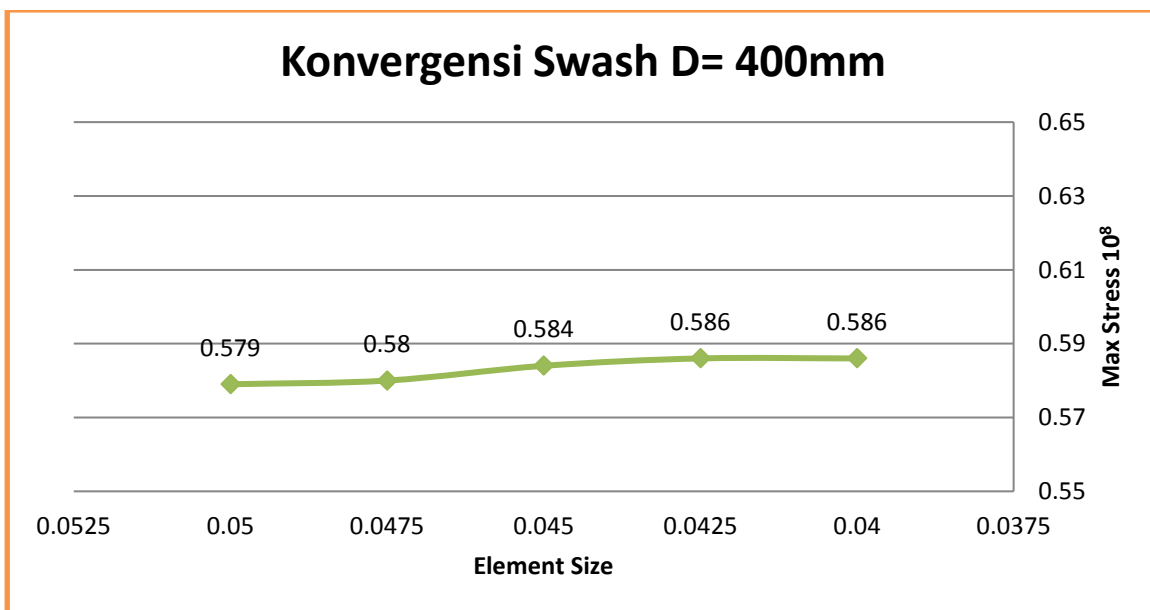
Gambar III. 40 Grafik Hasil Konvergensi pada *Longitudinal Swash Bulkhead* Dengan $D=200\text{mm}$

Dari Gambar III. 40 didapatkan ukuran meshing yang digunakan untuk pemodelan yaitu 0.04125 m.



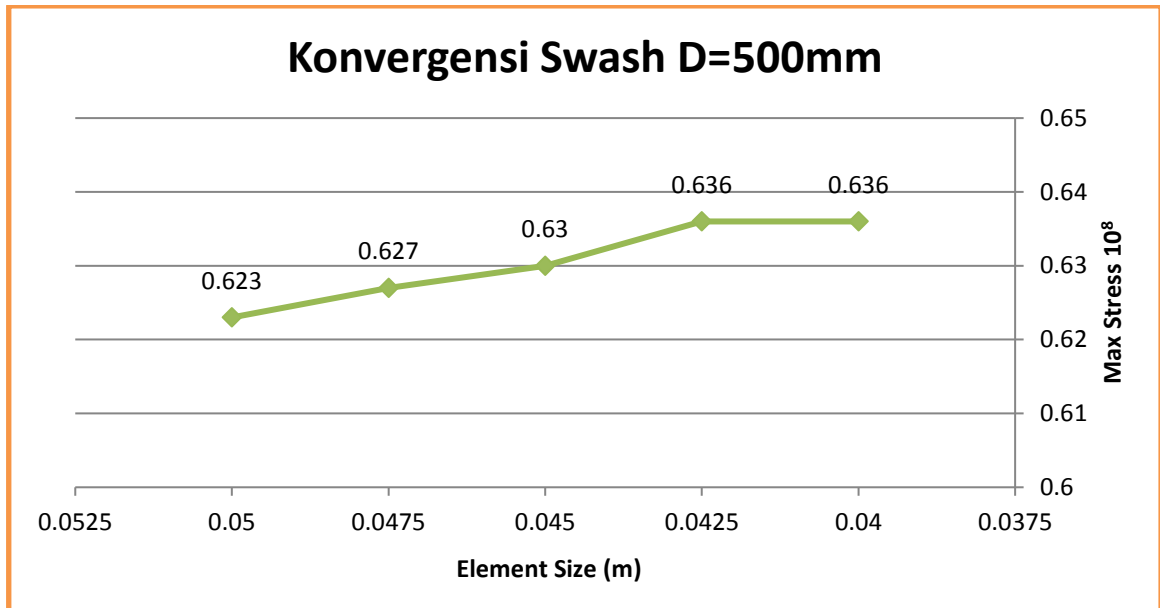
Gambar III. 41 Grafik Konvergensi pada Longitudinal Swash Bulkhead Dengan D=300mm

Dari Gambar III. 41 didapatkan ukuran meshing yang digunakan untuk pemodelan yaitu 0.0425 m.



Gambar III. 42 Grafik Konvergensi pada Longitudinal Swash Bulkhead Dengan D=400mm

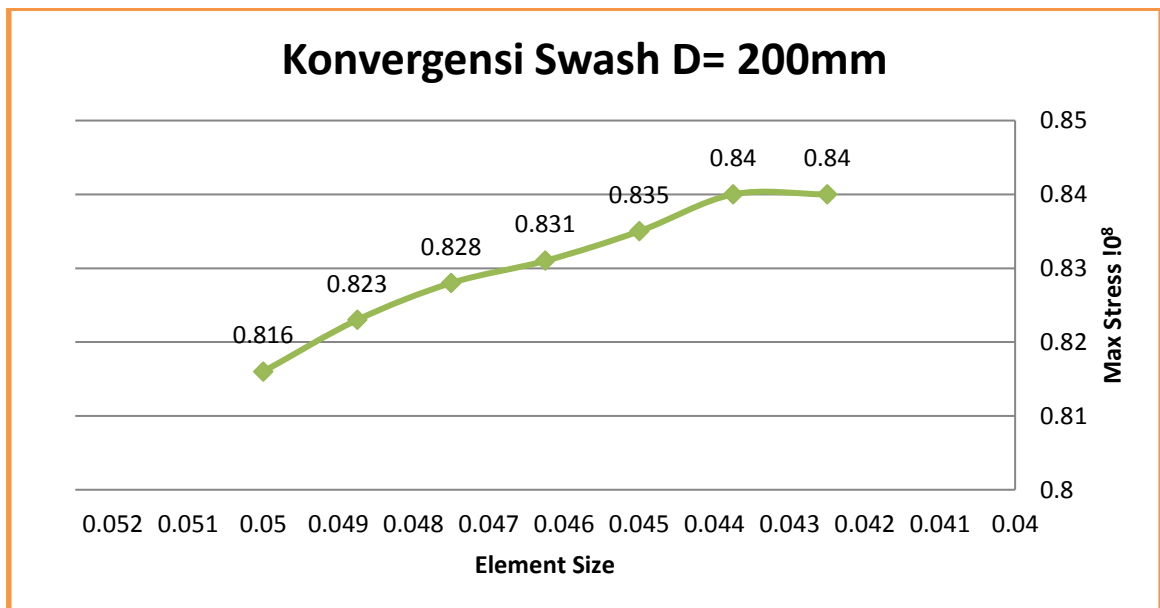
Dari Gambar III. 42 didapatkan ukuran meshing yang digunakan untuk pemodelan yaitu 0.0425 m.



Gambar III. 43 Grafik Konvergensi pada Longitudinal Swash Bulkhead Dengan D=500mm

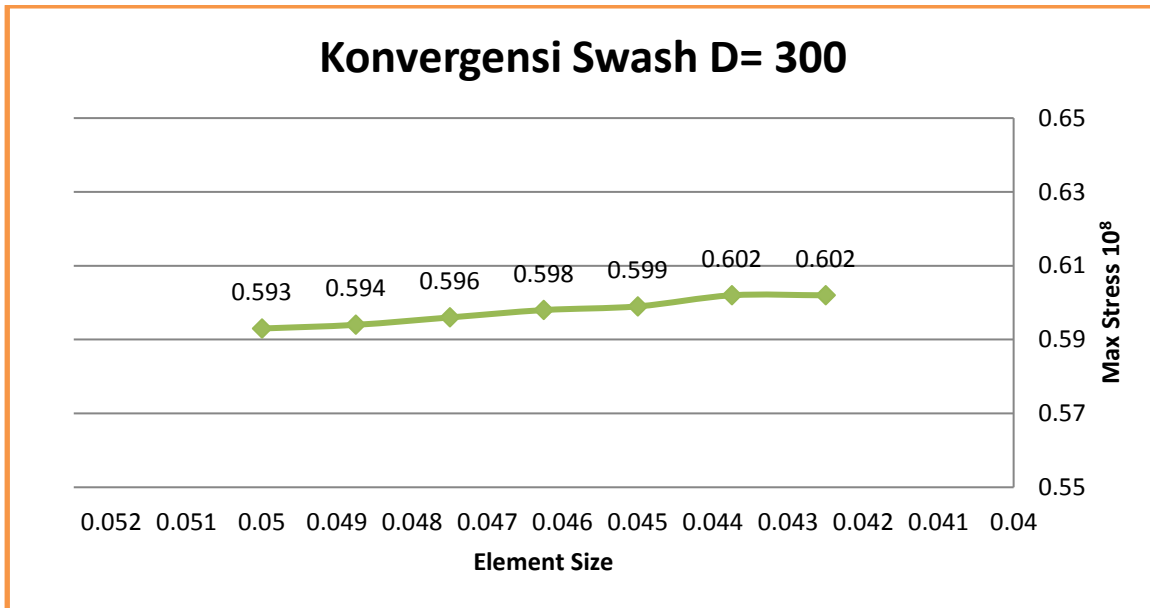
Dari Gambar III. 43 didapatkan ukuran meshing yang digunakan untuk pemodelan yaitu 0.0425 m.

3. Konvergensi untuk *longitudinal swash bulkhead* dengan total luasan 10%



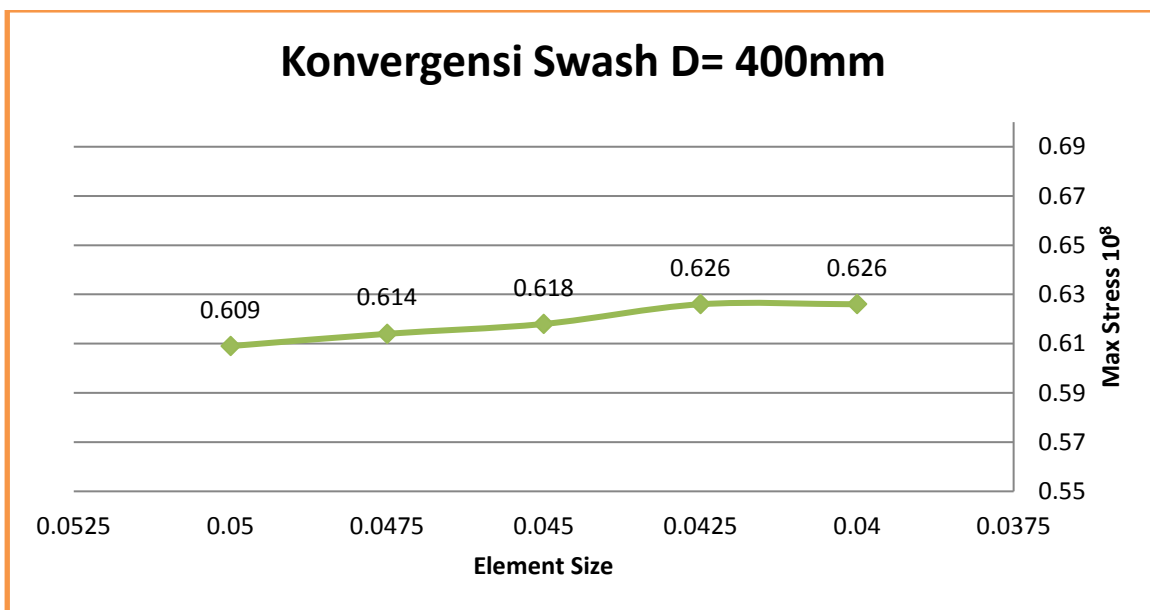
Gambar III. 44 Grafik Hasil Konvergensi pada Longitudinal Swash Bulkhead Dengan D=200mm

Dari Gambar III. 44 didapatkan ukuran meshing yang digunakan untuk pemodelan yaitu 0.04375 m.



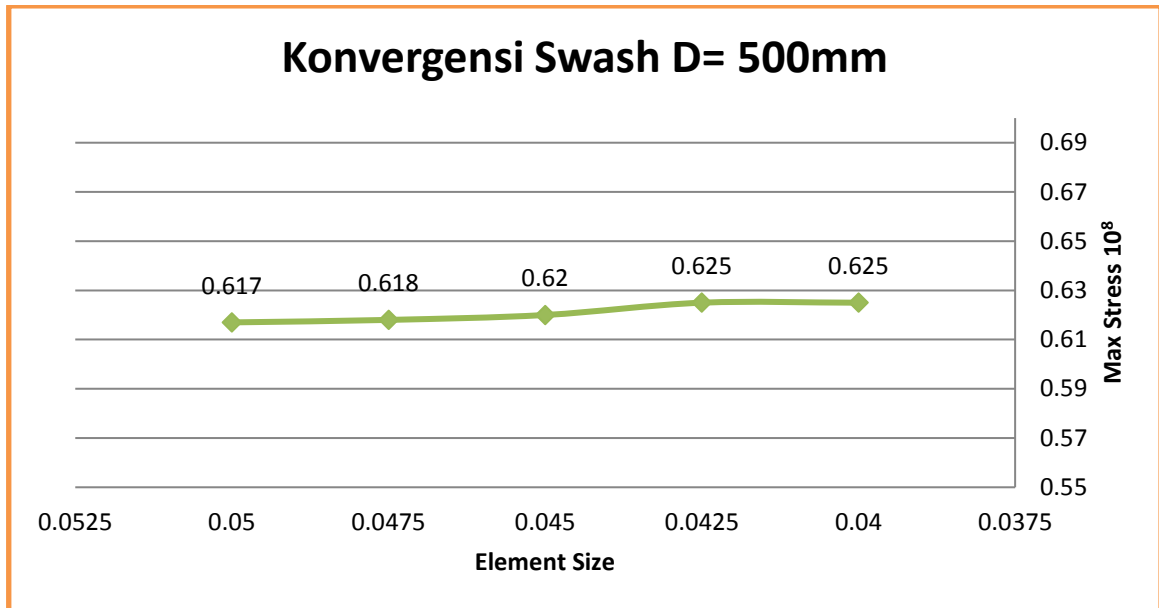
Gambar III. 45 Grafik Hasil Konvergensi pada Longitudinal Swash Bulkhead Dengan D=300mm

Dari Gambar III. 45 didapatkan ukuran meshing yang digunakan untuk pemodelan yaitu 0.04375 m.



Gambar III. 46 Grafik Konvergensi pada Longitudinal Swash Bulkhead Dengan D=400mm

Dari Gambar III. 46 didapatkan ukuran meshing yang digunakan untuk pemodelan yaitu 0.0425 m.



Gambar III. 47 Grafik Konvergensi pada *Longitudinal Swash Bulkhead* Dengan D=500mm

Dari Gambar III. 47 didapatkan ukuran meshing yang digunakan untuk pemodelan yaitu 0.0425

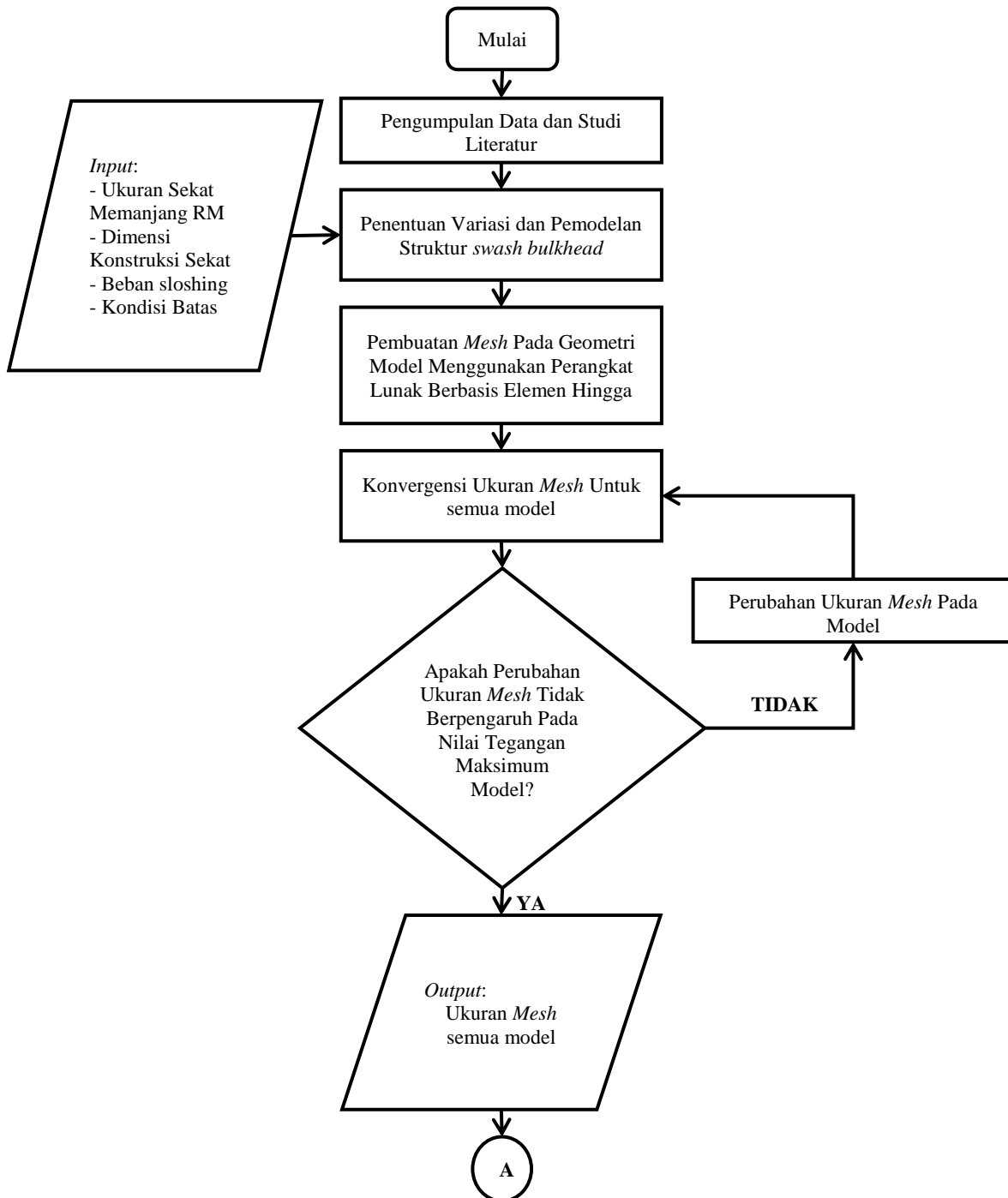
Dari grafik-grafik di atas maka didapatkan ukuran-ukuran yang telah konvergen untuk setiap model, dan dapat ditunjukkan seperti Tabel III. 11

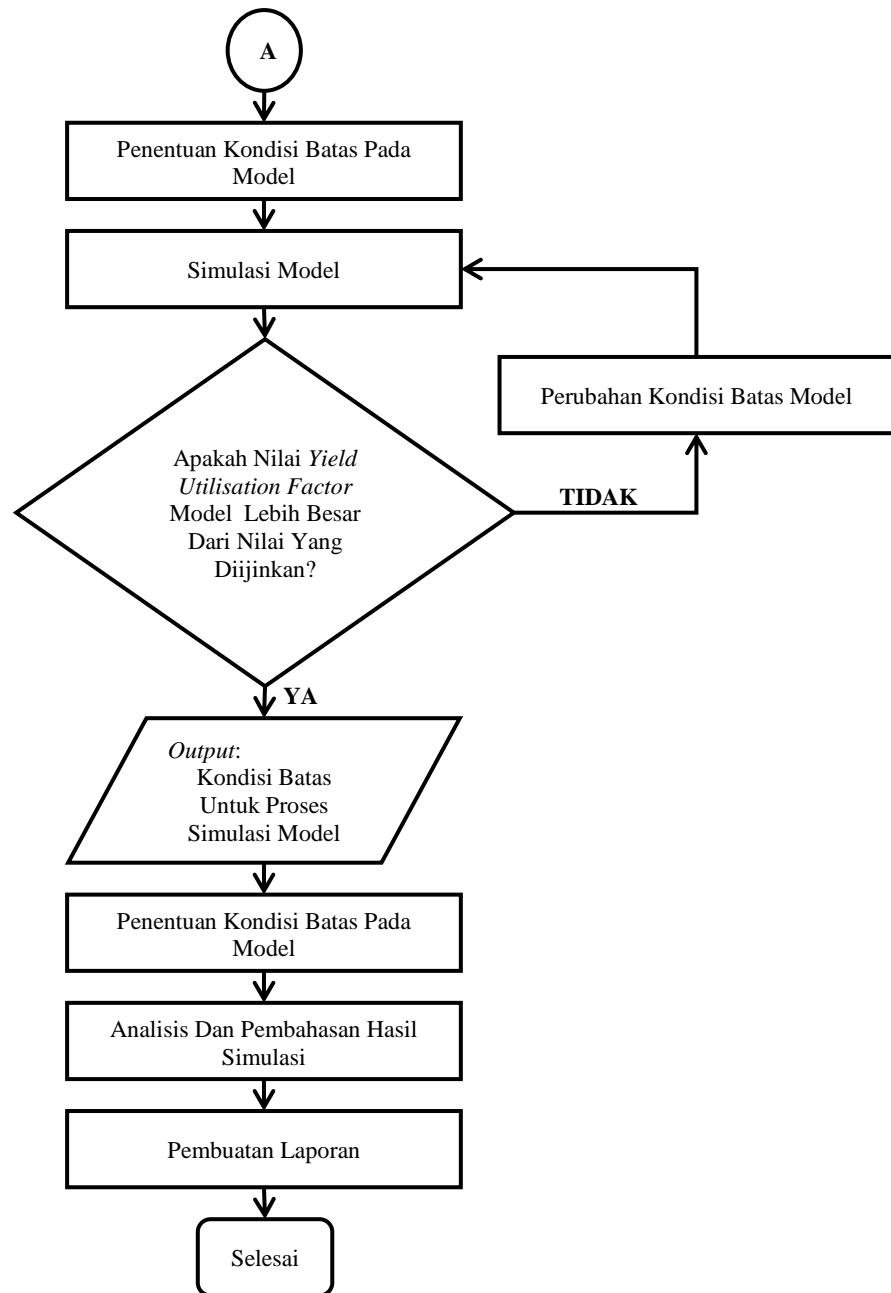
Tabel III. 11 Hasil Konvergensi Model

Tipe Sekat	Diameter Lubang (mm)	Ukuran Elemen (m)
<i>Longitudinal tight bulkhead</i>	-	0.04625
<i>Longitudinal swash bulkhead</i> total luas 6%	200	0.04625
	300	0.04500
	400	0.04250
	500	0.04250
<i>Longitudinal swash bulkhead</i> total luas 8%	200	0.04125
	300	0.04250
	400	0.04250
	500	0.04250
<i>Longitudinal swash bulkhead</i> total luas 10%	200	0.04375
	300	0.04375
	400	0.04375
	500	0.04250

III.6. Bagan Alir

Metodologi penelitian menunjukkan metode-metode yang digunakan dalam menyelesaikan permasalahan pada tugas akhir ini. Penggunaan metode ini dilakukan sesuai dengan langkah-langkah pekerjaan yang diuraikan sebagai berikut:





Gambar III. 48 Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir

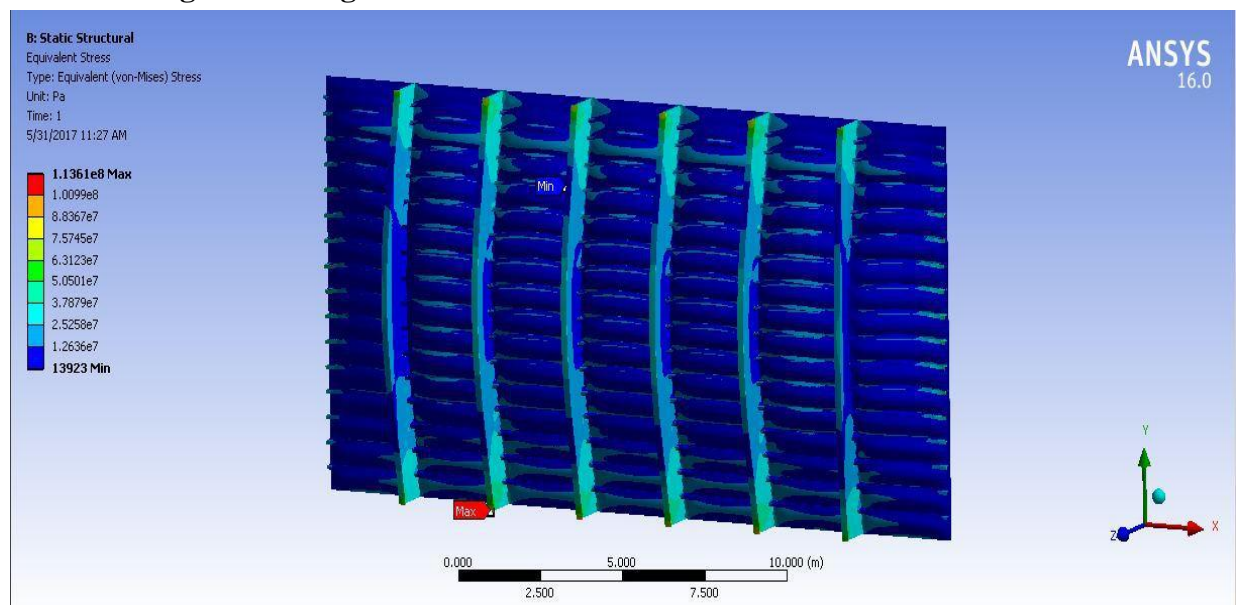
Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB IV PEMBAHASAN

IV.1. Hasil dan Pembahasan Analisis

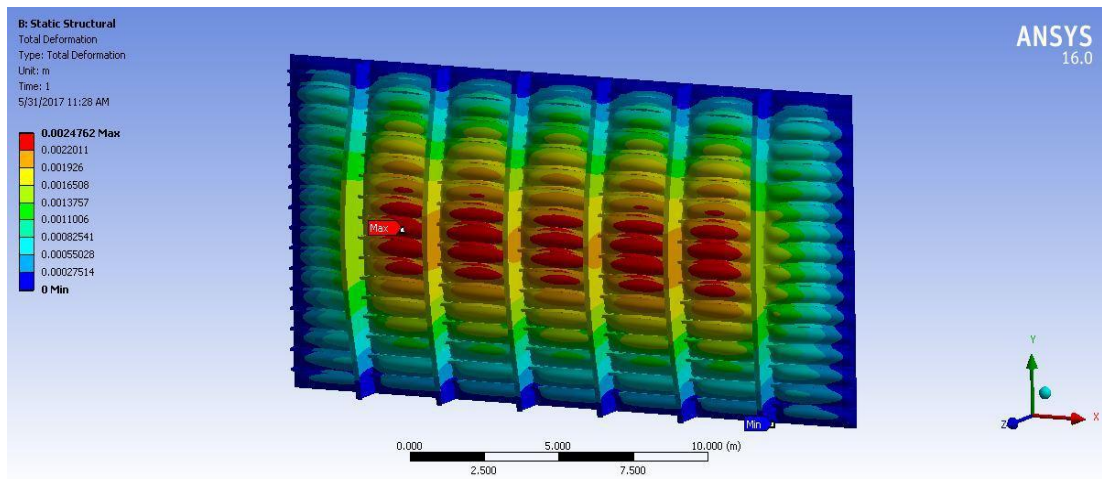
Setelah melakukan tahap-tahap yang telah dijelaskan pada BAB III maka akan didapatkan hasil berupa tegangan dan deformasi pada setiap model. Dari hasil tersebut akan dibandingkan antar model dan juga terhadap tegangan ijin. *Bulkhead* dianggap memiliki kekuatan yang memadai apabila nilai tegangan yang terjadi di tiap strukturnya tidak melebihi nilai dari *minimum nominal upper yield* (R_{EH}) untuk baja normal sebesar 235 N/mm^2 . Tegangan yang dihasilkan adalah tegangan von mises. Berikut ini adalah hasil *von mises stress* dan *deformation* untuk setiap model:

IV.1.1. Longitudinal Tight Bulkhead



Gambar IV. 1 Von Mises Stress pada Longitudinal Tight Bulkhead

Pada Gambar IV. 1 menunjukkan nilai *von mises stress* maksimum *longitudinal tight bulkhead* sebesar 113.6 MPa yang terletak pada area berwarna merah bagian bawah sekat yaitu pertemuan antara *face* dan *web* pada *transverse*, sedangkan nilai *von mises stress* minimum sebesar 0.013923 MPa yang terletak pada area berwarna biru tua bagian *transverse (face)* atas.

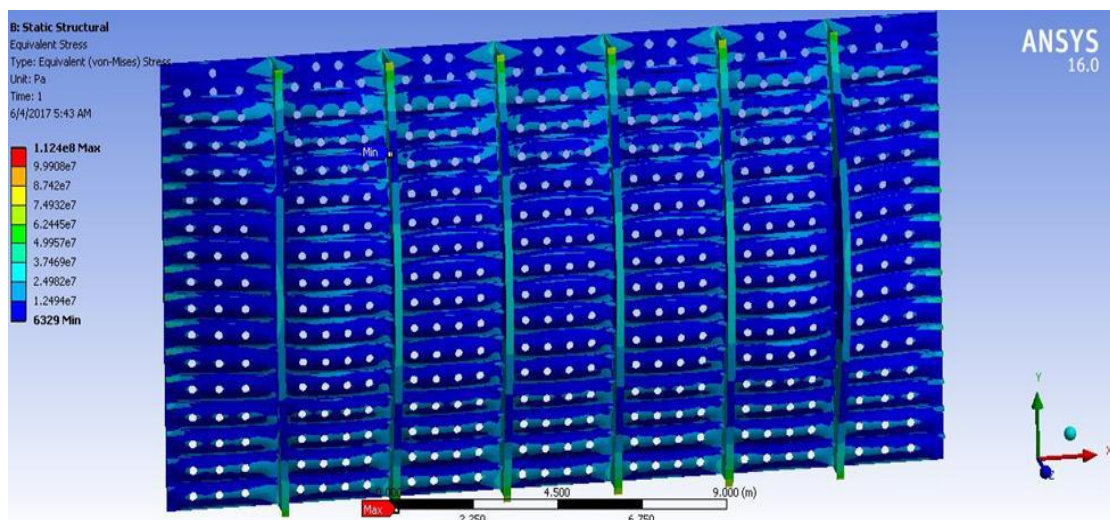


Gambar IV. 2 Deformasi pada *Longitudinal Tilt Bulkhead*

Selain *von mises stress*, besar *deformation* yang terjadi juga dapat dilihat pada Gambar IV. 2 dengan nilai maksimum *deformation* 2.4762 mm. *Deformation* maksimum terjadi pada area yang berwarna merah bagian tengah pelat sekat.

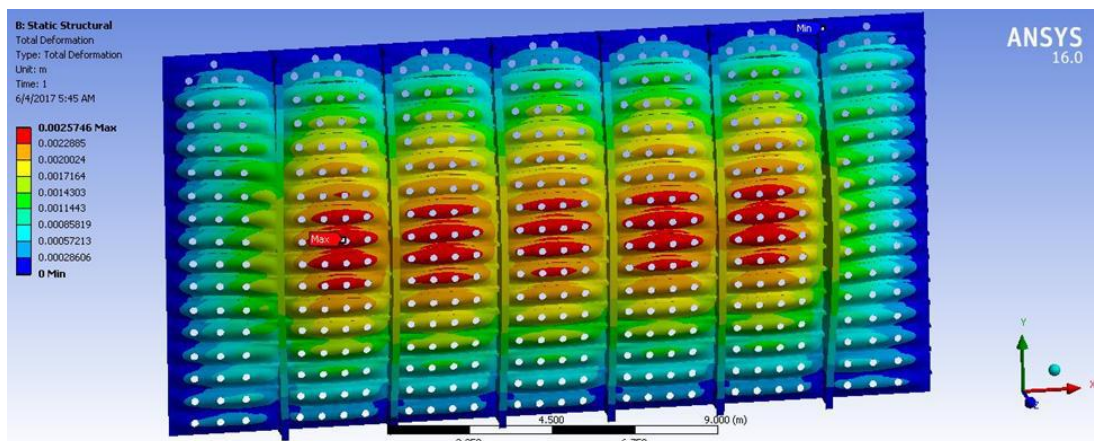
IV.1.2. Longitudinal Swash Bulkhead Total Luasan 6% dari Luas Sekat

1. Diameter 200 mm



Gambar IV. 3 Von Mises Stress pada *Longitudinal Swash Bulkhead D=200mm, Luasan 6%*

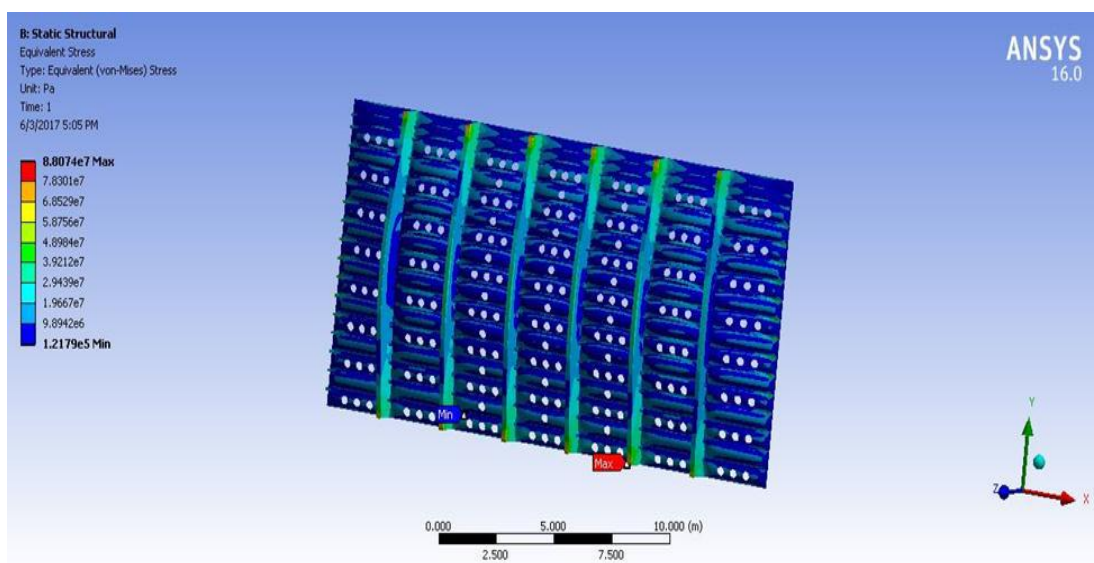
Pada Gambar IV. 3. menunjukkan nilai *von mises stress* maksimum *longitudinal swash bulkhead* sebesar 112.4 MPa yang terletak pada area berwarna merah bagian bawah sekat yaitu pertemuan antara *face* dan *web* pada *transverse*, sedangkan nilai *von mises stress* minimum sebesar 0.006329 MPa yang terletak pada area berwarna biru tua bagian *transverse (face)* atas.



Gambar IV. 4 Deformasi pada *Longitudinal Swash Bulkhead* D=200mm, Luasan 6%

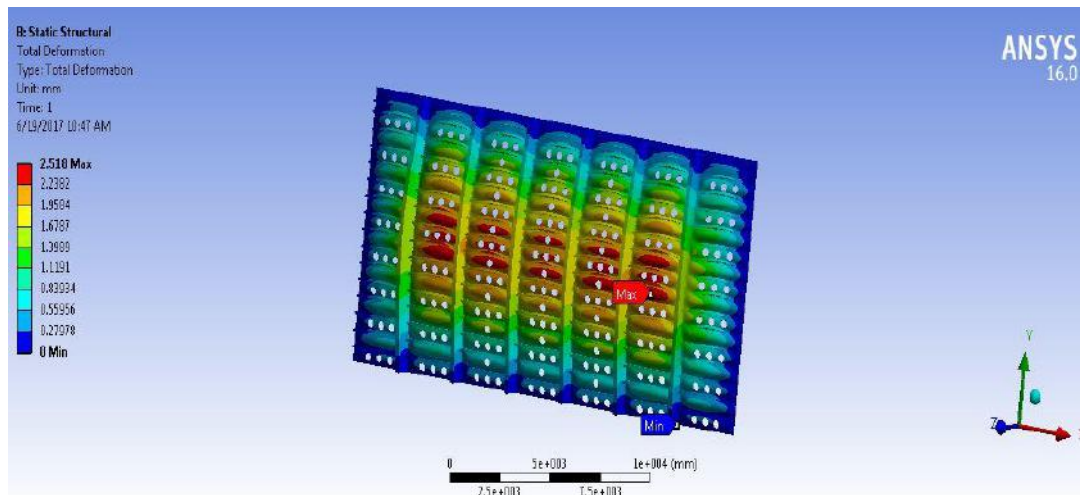
Selain *von mises stress*, besar deformasi yang terjadi juga dapat dilihat pada gambar Gambar IV. 4 dengan nilai deformasi maksimum 2.5746 mm. Deformasi maksimum terjadi pada area yang berwarna merah bagian tengah pelat sekat.

2. Diameter 300 mm



Gambar IV. 5 *Von Mises Stress* pada *Longitudinal Swash Bulkhead* D=300mm, Luasan 6%

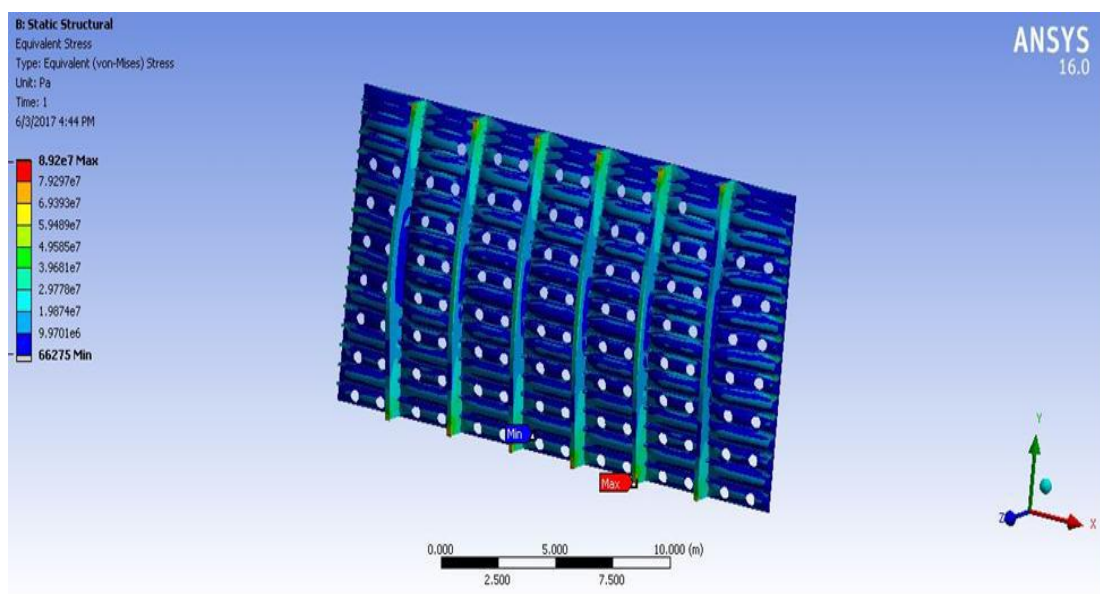
Pada Gambar IV. 5 menunjukkan nilai *von mises stress* maksimum *longitudinal swash bulkhead* sebesar 88.074 MPa yang terletak pada area yang berwarna merah bagian bawah sekat yaitu pertemuan antara *face* dan *web* pada *transverse*, sedangkan nilai *von mises stress* minimum sebesar 0.12792 MPa yang terletak pada area berwarna biru tua bagian pembujur bawah.



Gambar IV. 6 Deformasi pada *Longitudinal Swash Bulkhead D=300mm*, Luasan 6%

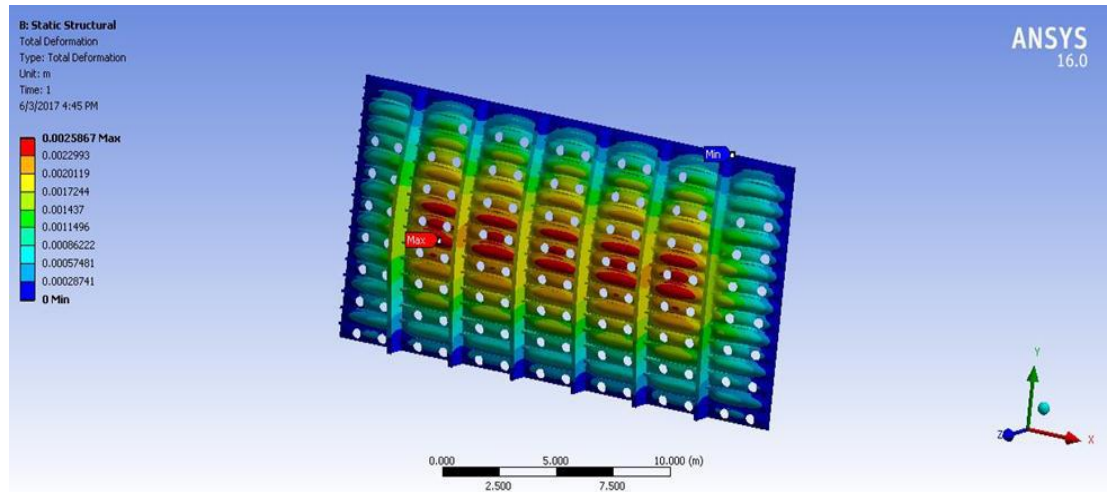
Selain *von mises stress*, besar deformasi yang terjadi juga dapat dilihat pada Gambar IV. 6 dengan nilai deformasi maksimum 2.518 mm. Deformasi maksimum terjadi pada area berwarna merah bagian tengah pelat sekat.

3. Diameter 400 mm



Gambar IV. 7 Von Mises Stress pada *Longitudinal Swash Bulkhead D=400mm*, Luasan 6%

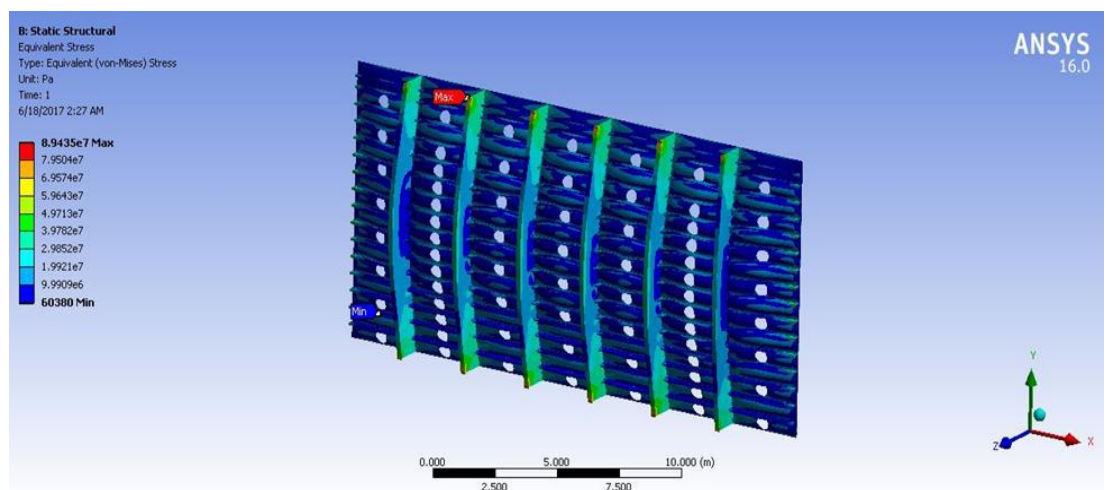
Pada Gambar IV. 7. menunjukkan nilai *von mises stress* maksimum *longitudinal swash bulkhead* sebesar 89.2 MPa yang terletak pada area berwarna merah bagian bawah sekat yaitu pertemuan antara *face* dan *web* pada *transverse*, sedangkan nilai *von mises stress* minimum sebesar 0.066 MPa yang terletak pada area berwarna biru tua bagian pembujur bawah.



Gambar IV. 8 Deformasi pada *Longitudinal Swash Bulkhead* D=400mm, Luasan 6%

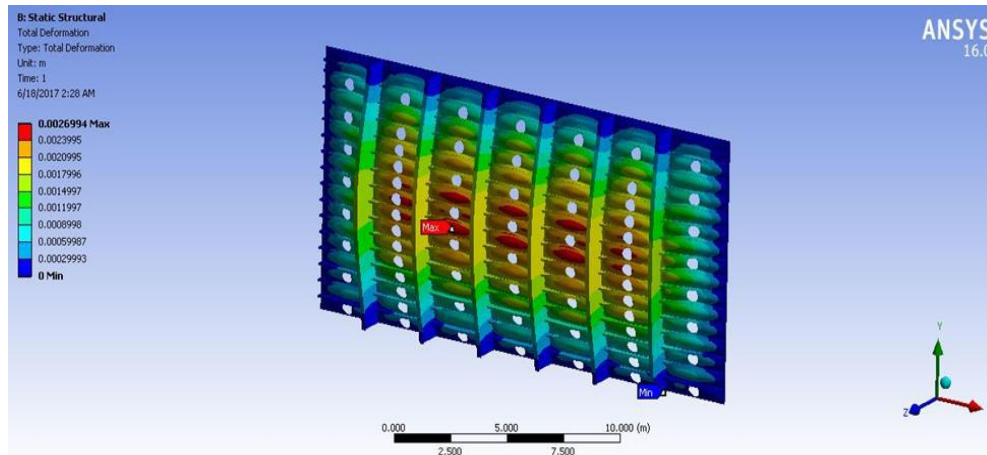
Selain *von mises stress*, besar deformasi yang terjadi juga dapat dilihat pada Gambar IV. 8 dengan nilai deformasi maksimum 2.5867 mm. Deformasi maksimum terjadi pada area berwarna merah bagian tengah pelat sekat.

4. Diameter 500 mm



Gambar IV. 9 Von Mises Stress pada *Longitudinal Swash Bulkhead* D=500mm, Luasan 6%

Pada Gambar IV. 9. Menunjukkan nilai *von mises stress* maksimum *longitudinal swash bulkhead* sebesar 89.435 MPa yang terletak pada area berwarna merah bagian bawah sekat yaitu pertemuan antara *face* dan *web* pada *transverse*, sedangkan nilai *von mises stress* minimum sebesar 0.06038 MPa yang terletak pada area berwarna biru tua bagian pembujur bawah.



Gambar IV. 10 Deformasi pada *Longitudinal Swash Bulkhead* D=500mm, Luasan 6%

Selain *von mises stress*, besar deformasi yang terjadi juga dapat dilihat pada Gambar IV. 10 dengan nilai deformasi maksimum 2.699 mm. Deformasi maksimum terjadi pada area berwarna merah bagian tengah pelat sekat.

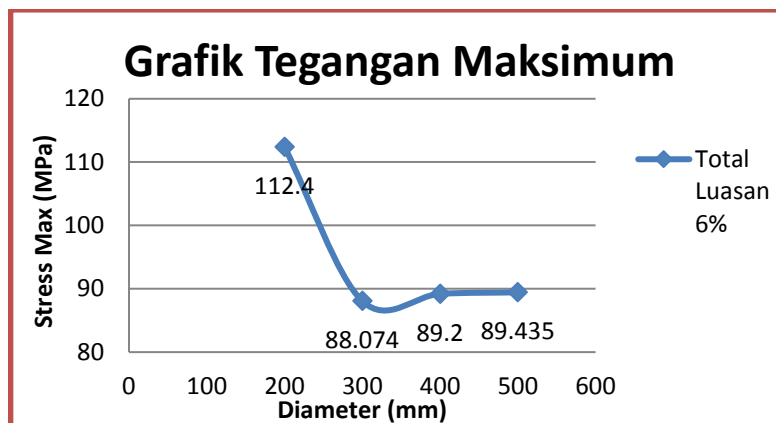
IV.1.3. Pembahasan *Longitudinal Swash Bulkhead* dengan Total Luasan 6%

Berdasarkan hasil simulasi yang telah dijelaskan pada sub-bab IV.1.1 maka hasil tegangan dan deformasi dapat ditampilkan dalam bentuk tabel seperti Tabel IV. 1.

Tabel IV. 1 Hasil Nilai Tegangan dan Deformasi Maksimum pada Total Luasan 6%

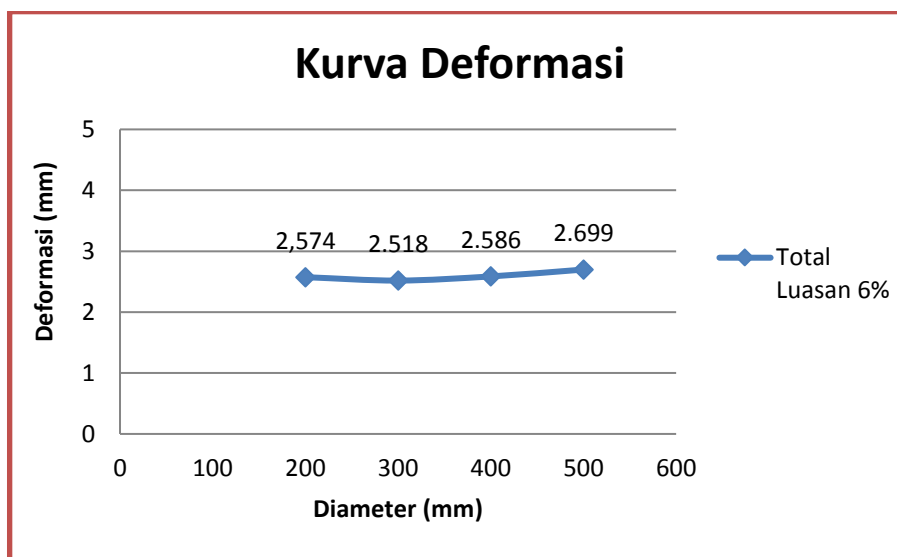
Diameter Lubang (mm)	Maksimum Stress (MPa)	Deformasi (mm)
200	112.40	2.574
300	88.074	2.518
400	89.200	2.586
500	89.435	2.699

Tabel IV. 1 menunjukkan nilai tegangan maksimum dan deformasi maksimum *swash bulkhead* setiap variasi diameter pada total luasan 6%. Nilai tegangan maksimum pada setiap variasi mengalami perubahan. Nilai tegangan maksimum tertinggi terjadi pada variasi diameter 200 mm dengan nilai 112.4 MPa dan nilai tegangan maksimum terendah terjadi pada variasi diameter 300 mm dengan nilai 88.074 MPa.



Gambar IV. 11 Grafik Tegangan Maksimum *Swash Bulkhead* pada Luasan 6%

Pengaruh perubahan diameter lubang terhadap tegangan model dapat ditunjukkan pada grafik Gambar IV. 11, Pada grafik tersebut terlihat tegangan maksimum tertinggi terjadi pada *swash bulkhead* dengan diameter 200 mm dengan nilai 112.4 MPa, penambahan ukuran diameter menjadi 300 mm tegangan maksimum mengalami penurunan dengan nilai 88.074 MPa, setelah itu nilai tegangan meningkat seiring dengan bertambahnya diameter yaitu pada diameter 400 mm nilai tegangan 89.2 MPa, dan pada diameter 500 mm nilai tegangan 89.45 MPa. Dapat diambil kesimpulan dari grafik pada Gambar IV. 11 bahwa *swash bulkhead* yang paling optimal adalah *swash bulkhead* dengan variasi diameter 300 mm.



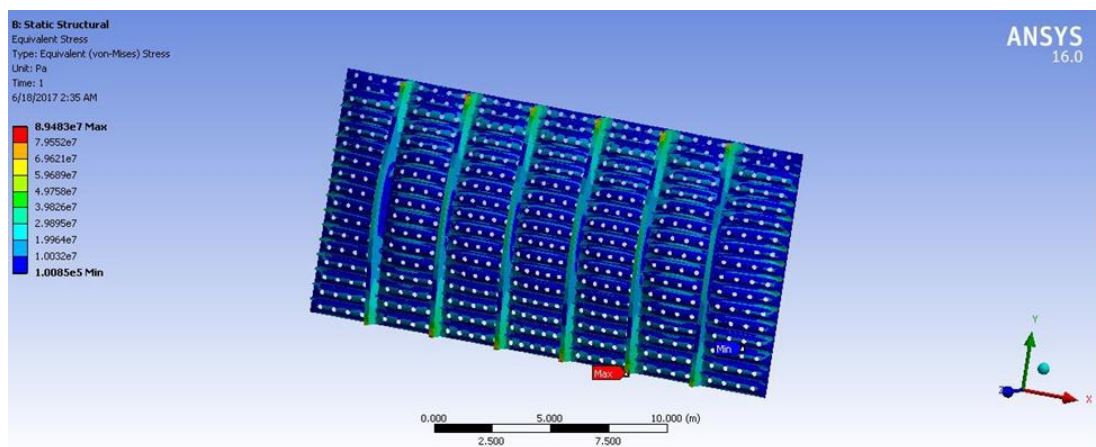
Gambar IV. 12 Grafik Deformasi *Swash Bulkhead* Pada Luasan 6%

Pengaruh perubahan diameter lubang terhadap tegangan model dapat ditunjukkan pada grafik Gambar IV. 12. Dapat dilihat bahwa deformasi maksimum tertinggi pada

diameter 500 mm sebesar 2.699 mm, dengan berkurangnya diameter lubang nilai deformasi juga berkurang. Nilai deformasi pada diameter 400 mm adalah 2.586 mm dan nilai deformasi pada diameter 300 mm adalah 2.518 mm. Setelah terjadi penurunan nilai deformasi pada diameter 300 mm, nilai deformasi kembali naik pada diameter 200 mm dengan nilai 2.574 mm. Dapat diambil kesimpulan bahwa *swash bulkhead* paling optimal adalah *swash bulkhead* dengan variasi diameter 300 mm.

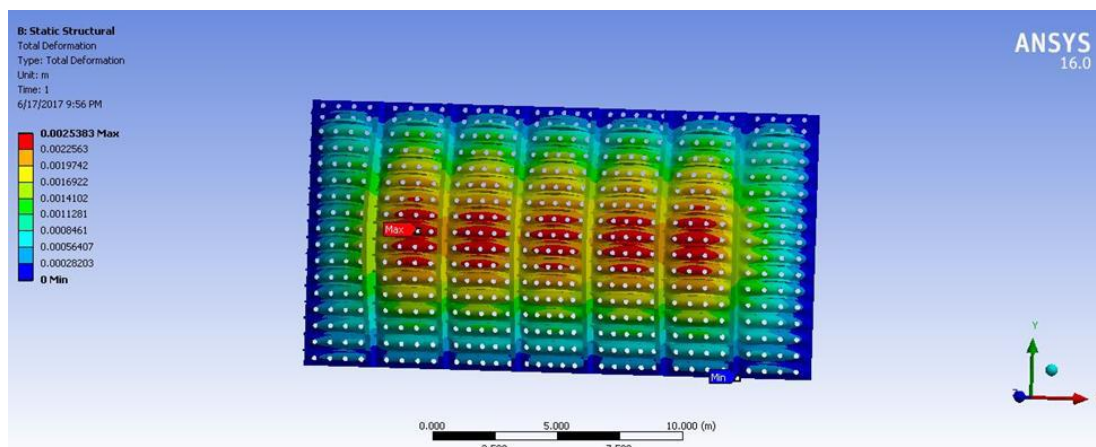
IV.1.4. Longitudinal Swash Bulkhead Total Luasan 8% dari Luas Sekat

1. Diameter 200 mm



Gambar IV. 13 Von Mises Stress pada Longitudinal Swash Bulkhead D=200mm, luasan 8%

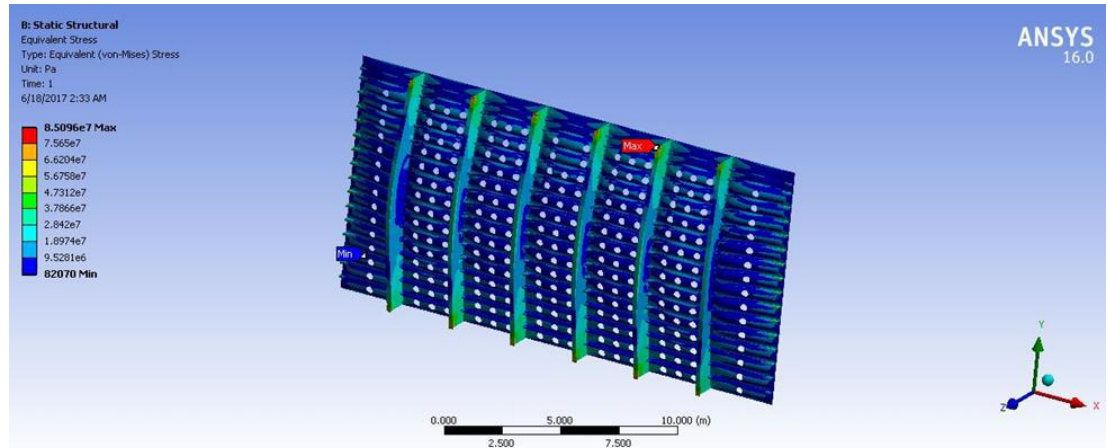
Pada Gambar IV. 13 menunjukkan nilai *von mises stress* maksimum *longitudinal swash bulkhead* sebesar 89.483 MPa yang terletak pada area berwarna merah bagian bawah sekat yaitu pertemuan antara *face* dan *web* pada *transverse*, sedangkan nilai *von mises stress* minimum sebesar 0.1008 MPa yang terletak pada bagian pembujur bawah.



Gambar IV. 14 Deformasi pada Longitudinal Swash Bulkhead D=200mm, Luasan 8%

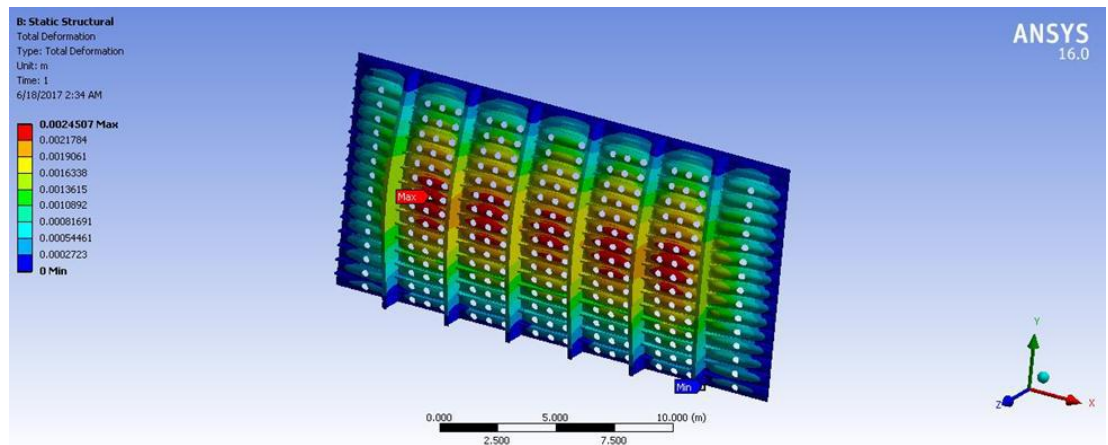
Selain *von mises stress*, besar deformasi yang terjadi juga dapat dilihat pada Gambar IV. 14 dengan nilai deformasi maksimum 2.5383 mm. Deformasi maksimum terjadi pada area pelat yang berwarna merah bagian tengah sekat.

2. Diameter 300 mm



Gambar IV. 15 Von Mises Stress pada Longitudinal Swash Bulkhead D=300mm, Luasan 8%

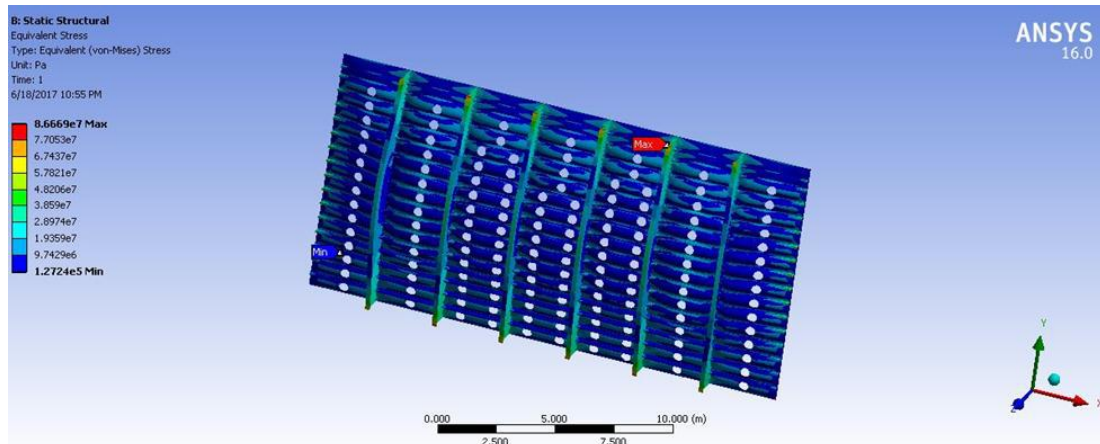
Pada Gambar IV. 15 menunjukkan nilai *von mises stress* maksimum *longitudinal swash bulkhead* sebesar 89.435 MPa yang terletak pada area berwarna merah bagian atas sekat yaitu pertemuan antara *face* dan *web* pada *transverse*, sedangkan nilai *von mises stress* minimum sebesar 0.08207 MPa yang terletak pada area berwarna biru tua bagian pembujur bawah.



Gambar IV. 16 Deformasi pada Longitudinal Swash Bulkhead D=300mm, Luasan 8%

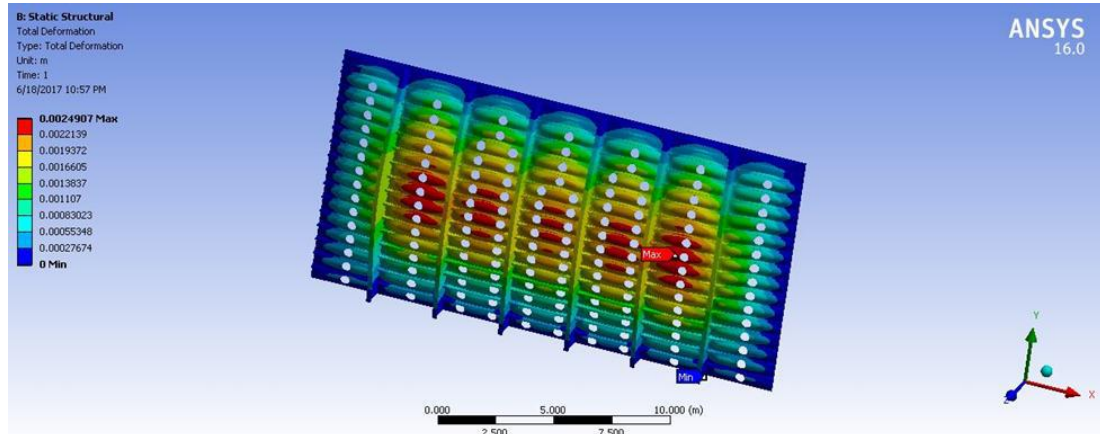
Selain *von mises stress*, besar deformasi yang terjadi juga dapat dilihat pada Gambar IV. 16 dengan nilai deformasi maksimum 2.4507 mm. Deformasi maksimum terjadi pada area yang berwarna merah bagian pelat tengah sekat.

3. Diameter 400 mm



Gambar IV. 17 Von Mises Stress pada Longitudinal Swash Bulkhead D=400mm, Luasan 8%

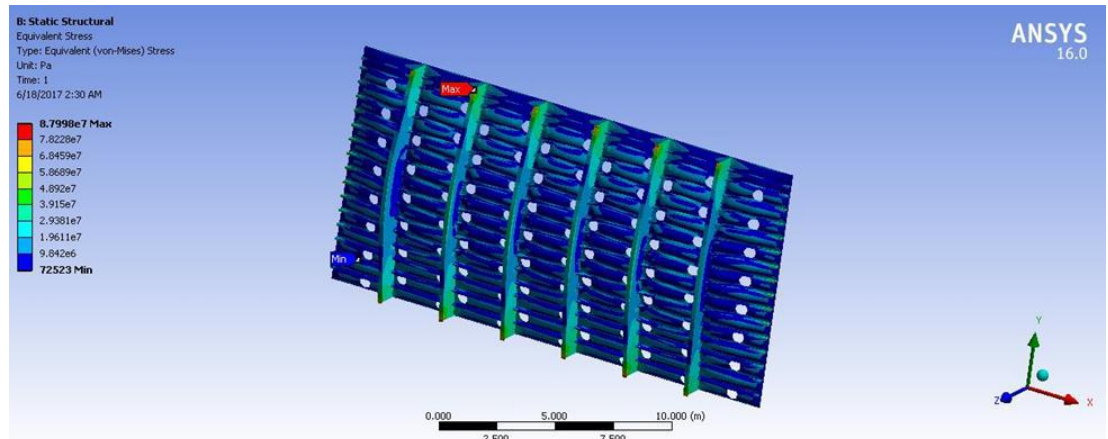
Pada Gambar IV. 17 menunjukkan nilai *von mises stress* maksimum *longitudinal swash bulkhead* sebesar 86.669 MPa yang terletak pada area berwarna merah bagian atas sekat yaitu pertemuan antara *face* dan *web* pada *transverse*, sedangkan nilai *von mises stress* minimum sebesar 0.12724 MPa yang terletak pada area berwarna biru tua bagian pembujur bawah.



Gambar IV. 18 Deformasi pada Longitudinal Swash Bulkhead D=400mm, Luasan 8%

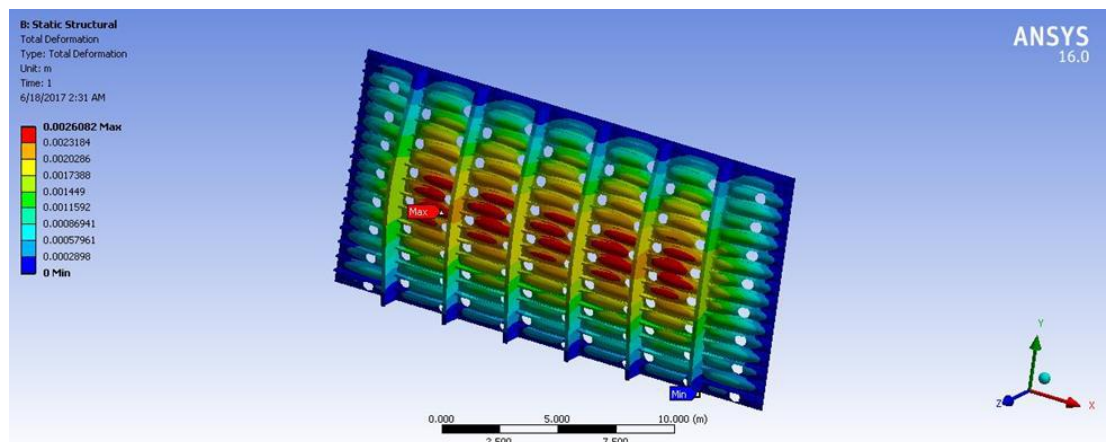
Selain *von mises stress*, besar deformasi yang terjadi juga dapat dilihat pada Gambar IV. 18 dengan nilai deformasi maksimum 2.4907 mm. Deformasi maksimum terjadi pada area pelat berwarna merah di bagian tengah sekat.

4. Diameter 500 mm



Gambar IV. 19 Von Mises Stress pada Longitudinal Swash Bulkhead D=500mm, Luasan 8%

Pada Gambar IV. 19 menunjukkan nilai *von mises stress* maksimum *longitudinal swash bulkhead* sebesar 87.999 MPa yang terletak pada area berwarna merah bagian atas sekat yaitu pertemuan antara *face* dan *web* pada *transverse*, sedangkan nilai *von mises stress* minimum sebesar 0.07253 MPa yang terletak pada area berwarna biru tua bagian pembujur bawah.



Gambar IV. 20 Deformasi pada Longitudinal Swash Bulkhead D=500mm, Luasan 8%

Selain *von mises stress*, besar deformasi yang terjadi juga dapat dilihat pada Gambar IV. 20 dengan nilai deformasi maksimum 2.56002 mm. Deformasi maksimum terjadi pada pelat berwarna merah bagian tengah sekat.

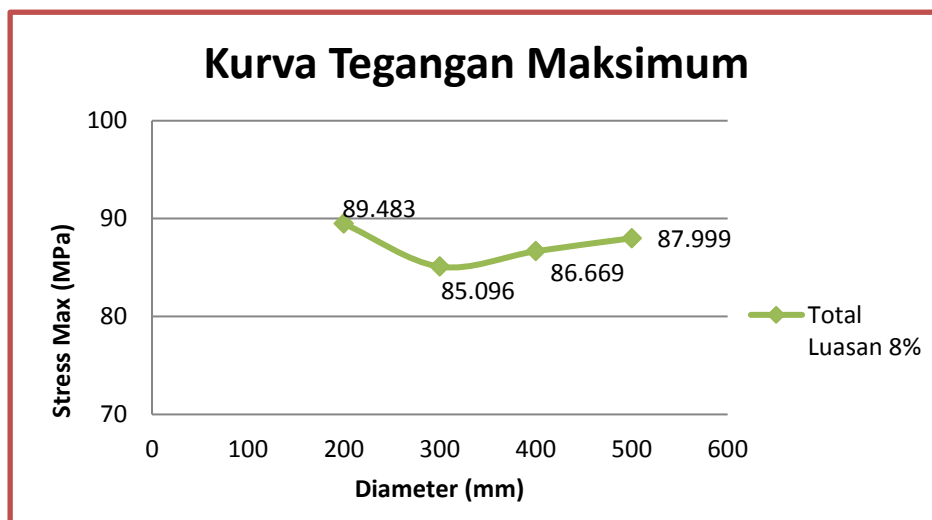
IV.1.5. Pembahasan *Longitudinal Swash Bulkhead* dengan Total Luasan 8%

Berdasarkan hasil simulasi yang telah dijelaskan pada sub-bab IV.1.1 maka hasil tegangan dan deformasi dapat ditampilkan dalam bentuk tabel seperti Tabel IV. 2.

Tabel IV. 2 Hasil Nilai Tegangan dan Deformasi Maksimum pada Total Luasan 8%

Diameter Lubang (mm)	Maksimum Stress (MPa)	Deformasi (mm)
200	89.483	2.538
300	85.096	2.450
400	86.669	2.491
500	87.999	2.608

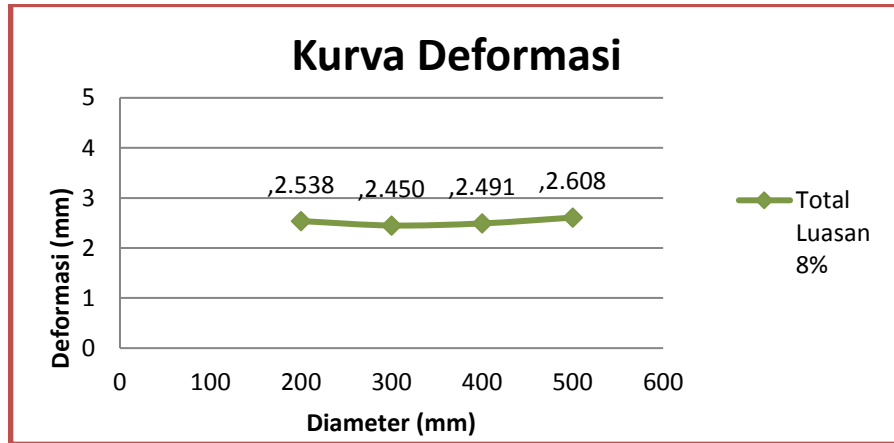
Tabel IV. 2 menunjukkan nilai tegangan maksimum dan deformasi maksimum *swash bulkhead* setiap variasi diameter pada total luasan 8%. Nilai tegangan maksimum pada setiap variasi mengalami perubahan. Nilai tegangan maksimum tertinggi terjadi pada variasi diameter 200 mm dengan nilai 89.483 MPa dan nilai tegangan maksimum terendah terjadi pada variasi diameter 300 mm dengan nilai 85.096 MPa.



Gambar IV. 21 Grafik Tegangan Maksimum *Swash Bulkhead* pada Luasan 8%

Pengaruh perubahan diameter lubang terhadap tegangan model dapat ditunjukkan pada grafik Gambar IV. 21. Pada grafik tersebut terlihat tegangan maksimum tertinggi terjadi pada *swash bulkhead* dengan diameter 200 mm dengan nilai 89.483 MPa, penambahan ukuran diameter menjadi 300 mm tegangan maksimum mengalami penurunan dengan nilai 85.096 MPa, setelah itu nilai tegangan meningkat seiring dengan bertambahnya diameter yaitu pada diameter 400 mm nilai tegangan 86.669 MPa, dan pada

diameter 500 mm nilai tegangan 87.999 MPa. Dapat diambil kesimpulan dari grafik pada Gambar IV. 21 bahwa *swash bulkhead* yang paling optimal adalah *swash bulkhead* dengan variasi diameter 300 mm.

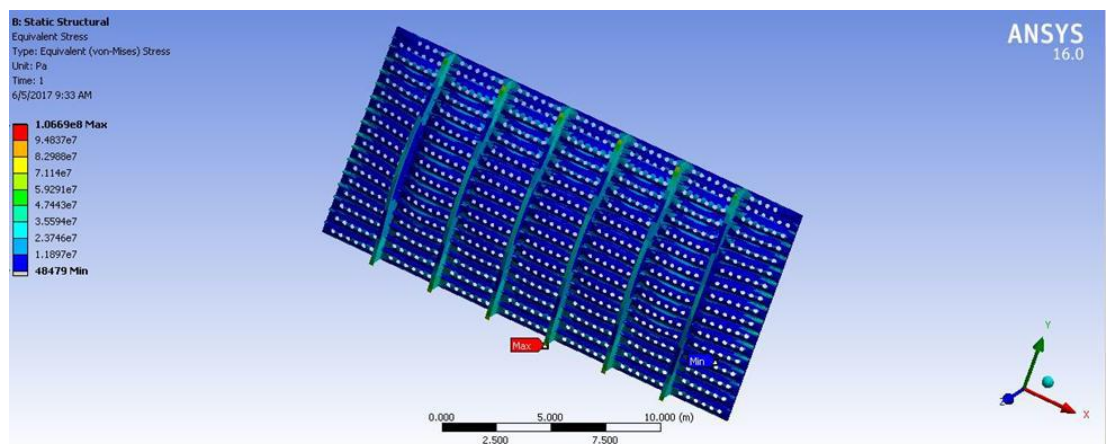


Gambar IV. 22 Grafik Deformasi *Swash Bulkhead* pada Luasan 8%

Pengaruh perubahan diameter lubang terhadap tdeformasi model dapat ditunjukkan pada grafik Gambar IV. 22. Pada grafik tersebut dapat dilihat bahwa deformasi maksimum tertinggi pada diameter 500 mm sebesar 2.608 mm, dengan berkurangnya diameter lubang nilai deformasi juga berkurang. Nilai deformasi pada diameter 400 mm adalah 2.491 mm dan nilai deformasi pada diameter 300 mm adalah 2.450 mm. Setelah terjadi penurunan nilai deformasi pada diameter 300 mm, nilai deformasi kembali naik pada diameter 200 mm dengan nilai 2.538 mm. Dapat diambil kesimpulan bahwa *swash bulkhead* paling optimal adalah *swash bulkhead* dengan vaiasi diameter 300 mm

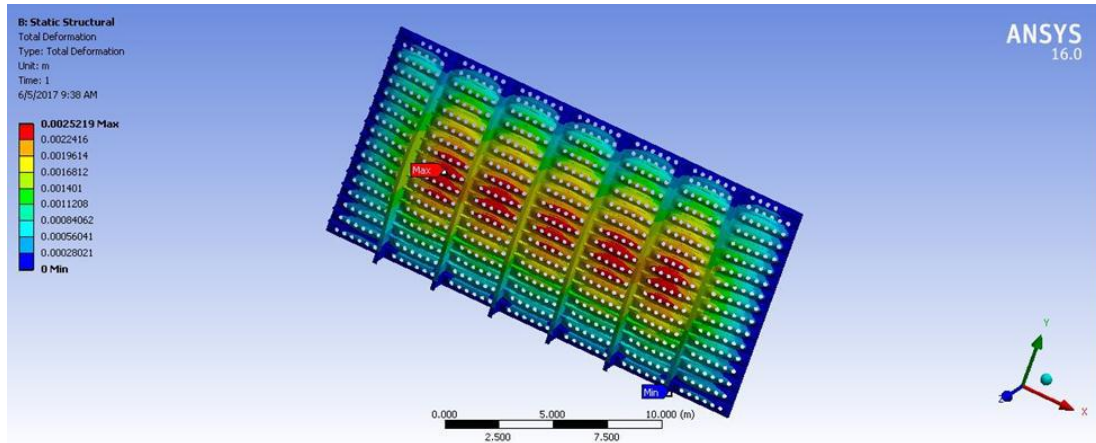
IV.1.6. *Longitudinal Swash Bulkhead* Total Luasan 10% dari Luas Sekat

1. Diameter 200 mm



Gambar IV. 23 *Von Mises Stress* pada *Longitudinal Swash Bulkhead* D=200mm, Luasan 10%

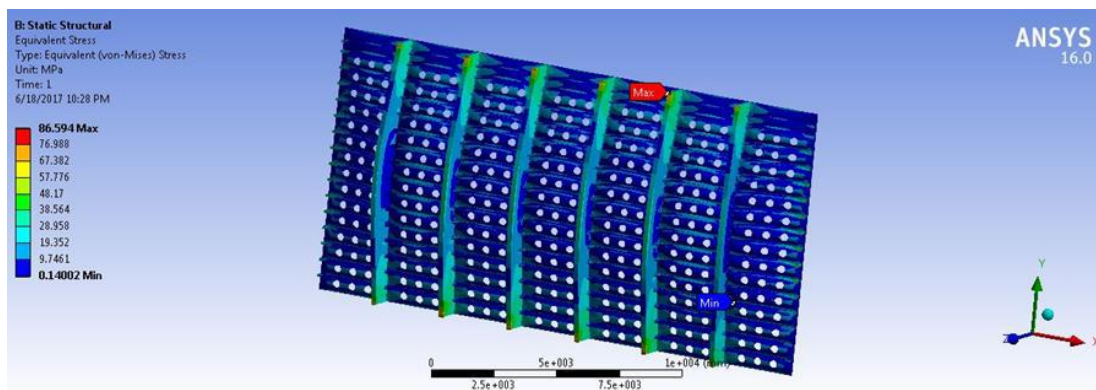
Pada Gambar IV. 23 menunjukkan nilai *von mises stress* maksimum *longitudinal swash bulkhead* sebesar 106.69 MPa yang terletak pada area berwarna merah bagian bawah sekat yaitu pertemuan antara *face* dan *web* pada *transverse*, sedangkan nilai *von mises stress* minimum sebesar 0.048479 MPa yang terletak pada area berwarna biru tua di *face* bagian bawah.



Gambar IV. 24 Deformasi pada Longitudinal Swash Bulkhead D=200mm, Luasan 10%

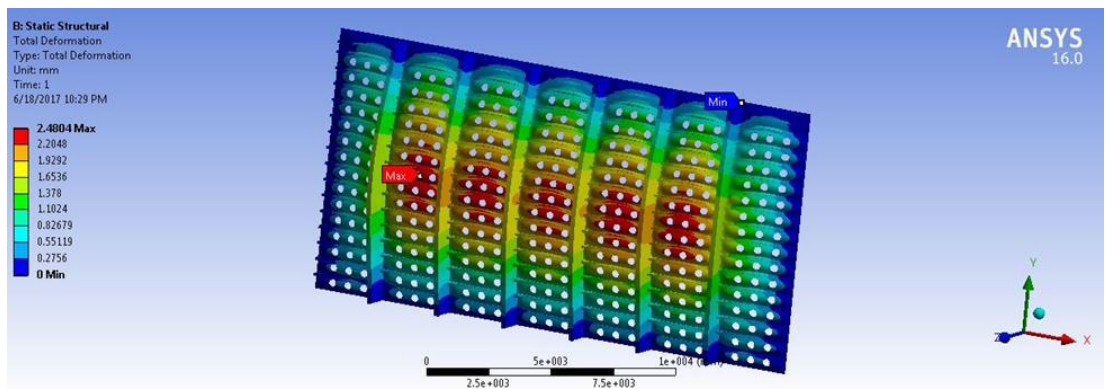
Selain *von mises stress*, besar deformasi yang terjadi juga dapat dilihat pada Gambar IV. 24 dengan nilai deformasi maksimum 2.52 mm. Deformasi maksimum terjadi pada pelat berwarna merah bagian tengah sekat.

2. Diameter 300 mm



Gambar IV. 25 Von Mises Stress pada Longitudinal Swash Bulkhead D=300mm, Luasan 10%

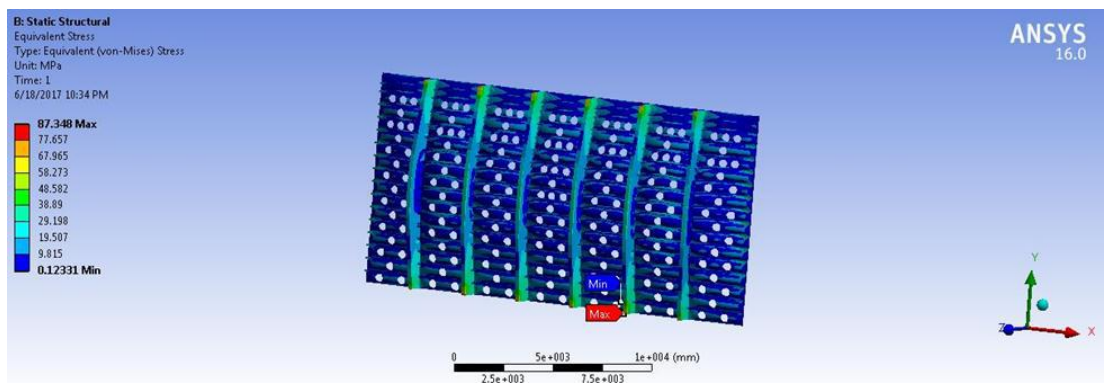
Pada Gambar IV. 25. menunjukkan nilai *von mises stress* maksimum *longitudinal swash bulkhead* sebesar 86.594 MPa yang terletak pada area berwarna merah bagian bawah sekat yaitu pertemuan antara *face* dan *web* pada *transverse*, sedangkan nilai *von mises stress* minimum sebesar 0.14002 MPa yang terletak pada area berwarna biru tua bagian pembujur bawah.



Gambar IV. 26 Deformasi pada *Longitudinal Swash Bulkhead* D=300mm, luasan 10%

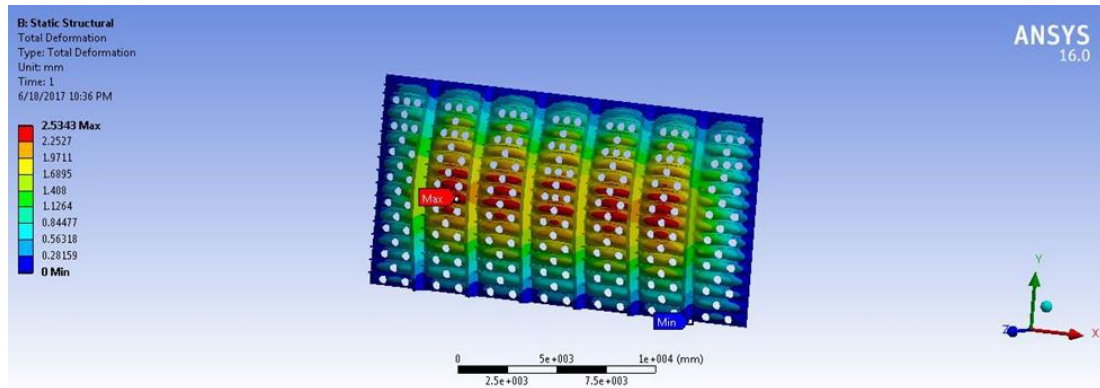
Selain *von mises stress*, besar deformasi yang terjadi juga dapat dilihat pada Gambar IV. 26 dengan nilai deformasi maksimum 2.4804 mm. Deformasi maksimum terjadi pada pelat berwarna merah bagian tengah sekat.

3. Diameter 400 mm



Gambar IV. 27 *Von Mises Stress* pada *Longitudinal Swash Bulkhead* D=400mm, Luasan 10%

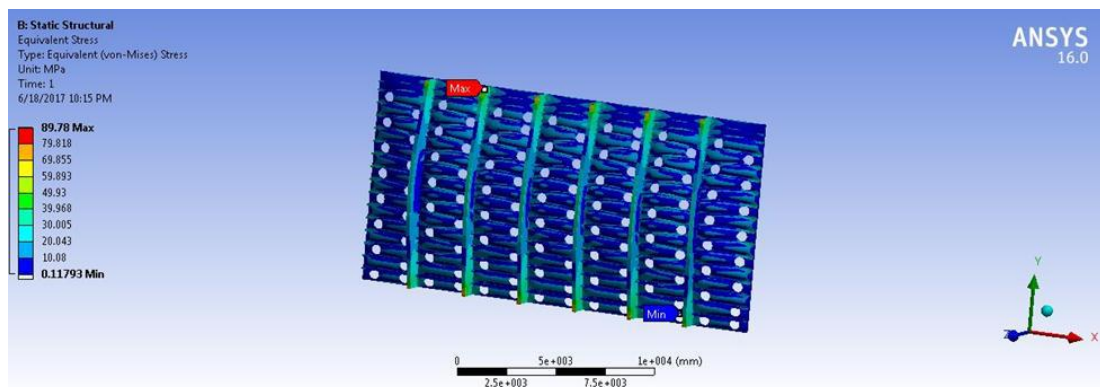
Pada Gambar IV. 27. menunjukan nilai *von mises stress* maksimum *longitudinal swash bulkhead* sebesar 87.348 MPa yang terletak pada area berwarna merah bagian bawah sekat yaitu pertemuan antara *face* dan *web* pada *transverse*, sedangkan nilai *von mises stress* minimum sebesar 0.12331 MPa yang terletak pada area berwarna biru tua di *face transverse* bagian bawah.



Gambar IV. 28 Deformasi pada Longitudinal Swash Bulkhead D=400mm, Luasan 10%

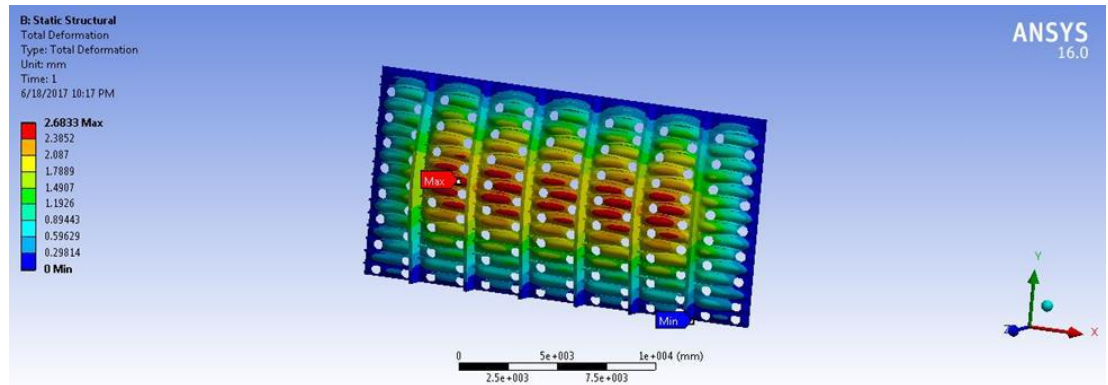
Selain *von mises stress*, besar deformasi yang terjadi juga dapat dilihat pada Gambar IV. 28 dengan nilai deformasi maksimum 2.5343 mm. Deformasi maksimum terjadi pada pelat berwarna merah bagian tengah sekat.

4. Diameter 500 mm



Gambar IV. 29 Von Mises Stress pada Longitudinal Swash Bulkhead D=500mm, Luasan 10%

Pada Gambar IV. 29. menunjukkan nilai *von mises stress* maksimum *longitudinal swash bulkhead* sebesar 89.78 MPa yang terletak pada area berwarna arah bagian atas sekat yaitu pertemuan antara *face* dan *web* pada *transverse*, sedangkan nilai *von mises stress* minimum sebesar 0.11793 MPa yang terletak pada pembujur bagian bawah.



Gambar IV. 30 Deformasi pada *Longitudinal Swash Bulkhead* $D=500\text{mm}$, Luasan 10%

Selain *von mises stress*, besar deformasi yang terjadi juga dapat dilihat pada Gambar IV. 30 dengan nilai deformasi maksimum 2.6833 mm. Deformasi maksimum terjadi pada area berwarna merah pelat bagian tengah sekat.

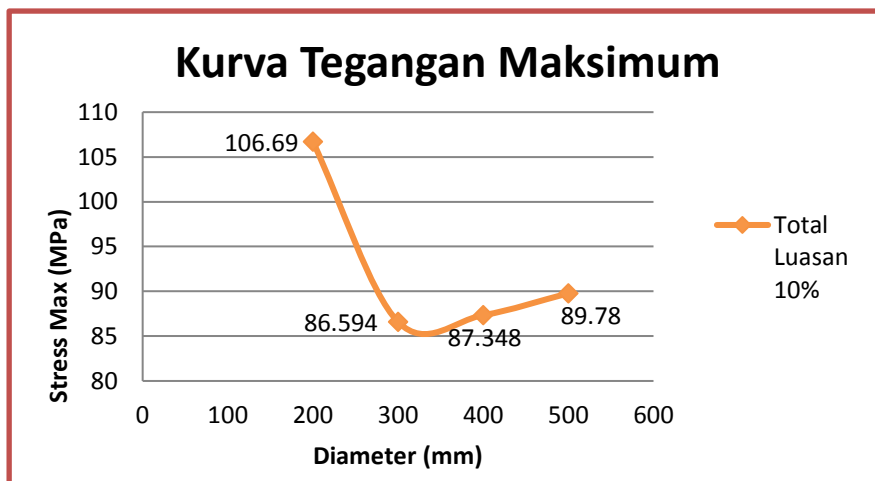
IV.1.7. Pembahasan *Longitudinal swash bulkhead* dengan total luasan 10%

Berdasarkan hasil simulasi yang telah dijelaskan pada sub-bab IV.1.1 maka hasil tegangan dan deformasi dapat ditampilkan dalam bentuk tabel seperti Tabel IV. 3

Tabel IV. 3 Hasil Nilai Tegangan dan Deformasi Maksimum pada Total Luasan 10%

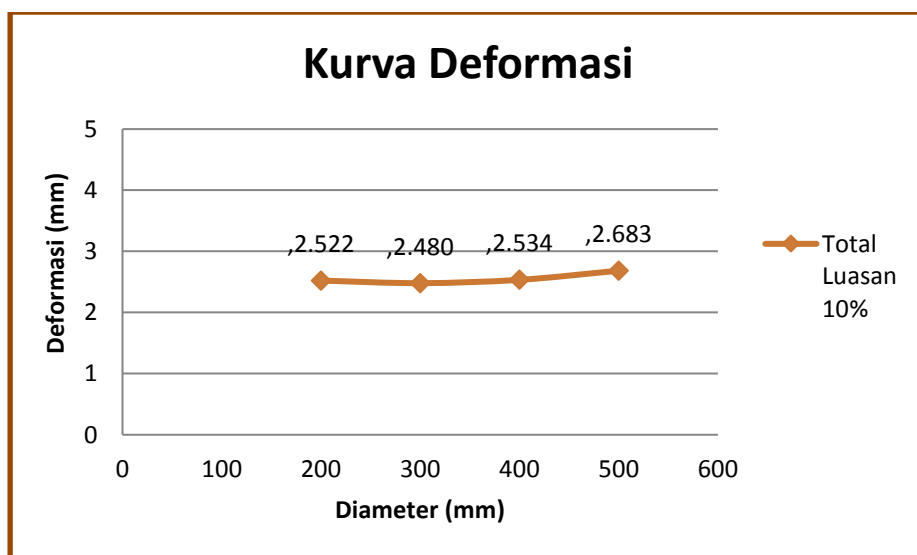
Diameter Lubang (mm)	Maksimum Stress (MPa)	Deformasi (mm)
200	106.69	2.522
300	86.594	2.480
400	87.348	2.534
500	89.780	2.688

Tabel IV. 3 menunjukkan nilai tegangan maksimum dan deformasi maksimum *swash bulkhead* setiap variasi diameter pada total luasan 8%. Nilai tegangan maksimum pada setiap variasi mengalami perubahan. Nilai tegangan maksimum tertinggi terjadi pada variasi diameter 200 mm dengan nilai 89.483 MPa dan nilai tegangan maksimum terendah terjadi pada variasi diameter 300 mm dengan nilai 85.096 MPa.



Gambar IV. 31 Grafik Tegangan Maksimum *Swash Bulkhead* pada Luasan 10%

Pengaruh perubahan diameter lubang terhadap tegangan model dapat ditunjukkan pada grafik Gambar IV.31. Pada grafik tersebut terlihat tegangan maksimum tertinggi terjadi pada *swash bulkhead* dengan diameter 200 mm dengan nilai 106.69 MPa, penambahan ukuran diameter menjadi 300 mm tegangan maksimum mengalami penurunan dengan nilai 86.594 MPa, setelah itu nilai tegangan meningkat seiring dengan bertambahnya diameter yaitu pada diameter 400 mm nilai tegangan 87.348 MPa, dan pada diameter 500 mm nilai tegangan 89.78 MPa. Dapat diambil kesimpulan dari grafik pada Gambar IV. 31 bahwa *swash bulkhead* yang paling optimal adalah *swash bulkhead* dengan variasi diameter 300 mm.



Gambar IV. 32 Grafik Deformasi *Swash Bulkhead* pada Luasan 10%

Pengaruh perubahan diameter lubang terhadap deformasi dapat ditunjukkan pada Gambar IV. 32. Dapat dilihat bahwa deformasi maksimum tertinggi pada diameter 500 mm

sebesar 2.638 mm, dengan berkurangnya diameter lubang nilai deformasi juga berkurang. Nilai deformasi pada diameter 400 mm adalah 2.534 mm dan nilai deformasi pada diameter 300 mm adalah 2.480 mm. Setelah terjadi penurunan nilai deformasi pada diameter 300 mm, nilai deformasi kembali naik pada diameter 200 mm dengan nilai 2.522 mm. Dapat diambil kesimpulan bahwa *swash bulkhead* paling optimal adalah *swash bulkhead* dengan variasi diameter 300 mm.

IV.2. Pengecekan Hasil Analisis

Pada sub-bab IV.1 nilai *von mises stress* yang selanjutnya akan dilakukan pengecekan dengan tegangan ijin, dimana tegangan ijin yang digunakan berdasarkan rumus $\frac{k \sigma_{vm}}{235} \leq 1.36$ yang ditunjukkan oleh Tabel IV. 4

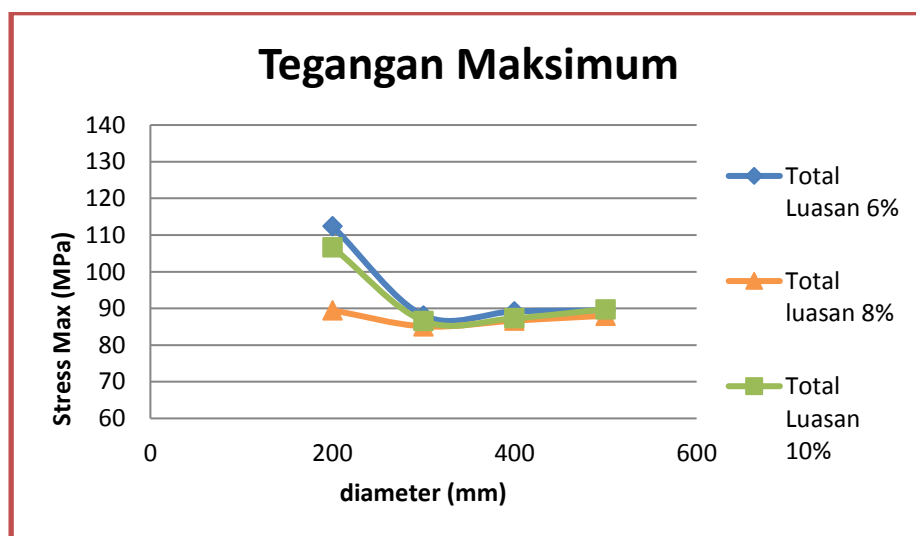
Tabel IV. 4 Pengecekan Nilai Tegangan

Tipe Sekat	Diameter Lubang (mm)	Tegangan Maksimum (MPa)	Tegangan Batas (MPa)	λ_y	$\lambda_{y\text{maks}}$	Keterangan
<i>Longitudinal tight bulkhead</i>	-	113,600	235	0,483	1,36	Memenuhi
<i>Longitudinal swash bulkhead total luas 6%</i>	200	112,400	235	0,478	1,36	Memenuhi
	300	88,074	235	0,374	1,36	Memenuhi
	400	89,200	235	0,379	1,36	Memenuhi
	500	89,435	235	0,380	1,36	Memenuhi
<i>Longitudinal swash bulkhead total luas 8%</i>	200	89,483	235	0,380	1,36	Memenuhi
	300	85,096	235	0,362	1,36	Memenuhi
	400	86,669	235	0,368	1,36	Memenuhi
	500	87,999	235	0,374	1,36	Memenuhi

Tipe Sekat	Diameter Lubang (mm)	Tegangan Maksimum (MPa)	Tegangan Batas (MPa)	λ_y	$\lambda_{y\text{maks}}$	Keterangan
<i>Longitudinal swash bulkhead</i> total luas 10%	200	106,690	235	0,454	1,36	Memenuhi
	300	86,594	235	0,368	1,36	Memenuhi
	400	87,348	235	0,371	1,36	Memenuhi
	500	89,780	235	0,382	1,36	Memenuhi

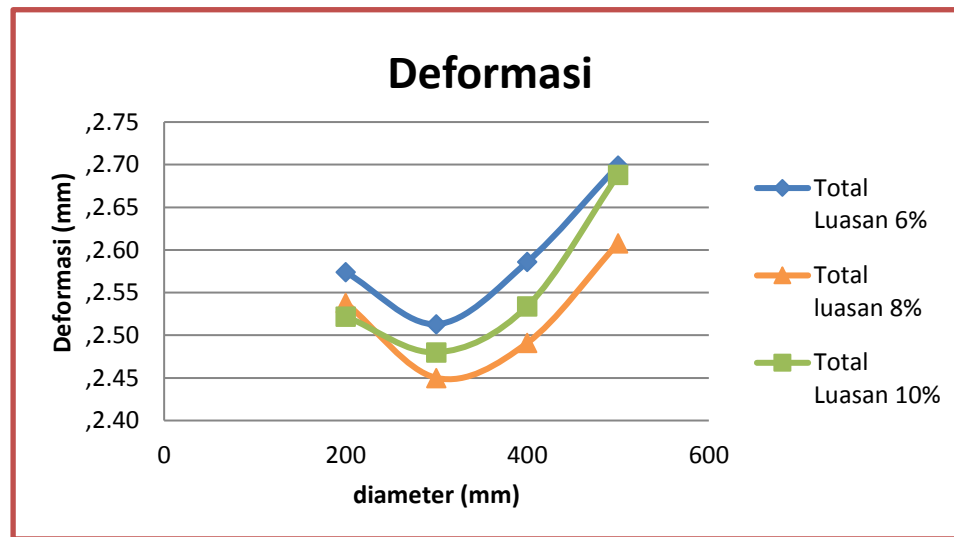
Berdasarkan Tabel IV. 4 Pengecekan Nilai Tegangan nilai tegangan maksimum semua model memenuhi.

IV.3. Perbandingan tiap model berdasarkan total luasan lubang pada sekat



Gambar IV. 33 Grafik Perbandingan Tegangan Maksimum Berdasarkan Total Luasan Lubang

Berdasarkan Grafik pada Gambar IV. 33 diantara tiga total luasan dapat dilihat bahwa *longitudinal swash bulkhead* yang paling optimal yaitu memiliki tegangan paling kecil adalah *longitudinal swash bulkhead* dengan total luasan 8%.

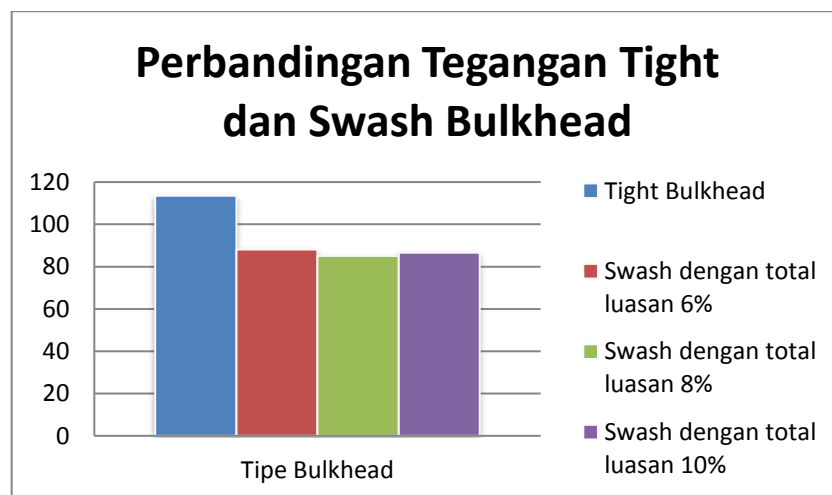


Gambar IV. 34 Grafik Perbandingan Deformasi Maksimum Berdasarkan Total Luasan Lubang

Berdasarkan Gambar IV. 34 diantara tiga total luasan *longitudinal swash bulkhead* yang memiliki tegangan dan deformasi paling rendah adalah *longitudinal swash bulkhead* dengan total luasan 8%.

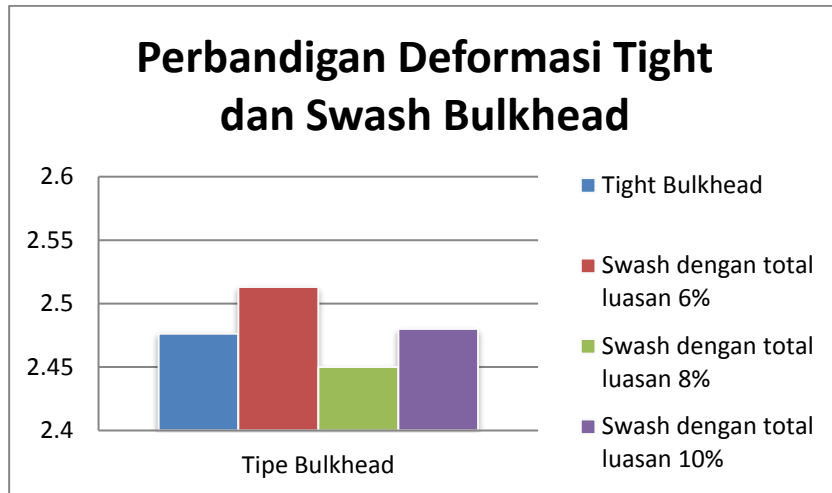
IV.4. Perbandingan longitudinal tight bulkhead dan longitudinal swash bulkhead

Pada sub-bab ini menjelaskan perbandingan tegangan dan deformasi maksimum pada *longitudinal tight bulkhead* terhadap *longitudinal swash bulkhead* akibat *sloshing pressure*, yang akan dijelaskan oleh diagram di bawah ini:



Gambar IV. 35 Diagram Perbandingan Tegangan Maksimum *Tight Bulkhead* dan *Swash Bulkhead*

Gambar IV. 35 menunjukkan bahwa *longitudinal tight bulkhead* memiliki tegangan maksimum lebih tinggi dibandingkan dengan *longitudinal swash bulkhead* dikarenakan *sloshing pressure* pada *tight bulkhead* lebih besar dibandingkan dengan *swash bulkhead*.



Gambar IV. 36 Diagram Perbandingan Deformasi Maksimum *Tight Bulkhead* dan *Swash Bulkhead*

Gambar IV. 36 menunjukkan bahwa *swash bulkhead* dengan total luasan 6% memiliki deformasi maksimum lebih besar dibandingkan dengan *longitudinal swash bulkhead* lainnya dan *tight bulkhead*. *Tight bulkhead* memiliki deformasi yang kecil dikarenakan pada *tight bulkhead* konstruksi lebih kuat karena tidak memiliki lubang.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

V.1. Kesimpulan

Setelah analisis tegangan pada *longitudinal tight bulkhead* dan *longitudinal swash bulkhead* akibat beban *sloshing* yang dibahas pada Bab IV maka dapat disimpulkan bahwa:

1. *Longitudinal tight bulkhead* memiliki nilai tegangan maksimum paling tinggi dibanding dengan *longitudinal swash bulkhead* dengan nilai 113.6 MPa.
2. *Swash bulkhead* dengan diameter 300 mm pada total luasan 8% memiliki tegangan paling rendah dengan nilai 85.096 MPa
3. *Longitudinal swash bulkhead* dengan total luasan 6% memiliki nilai deformasi paling tinggi dibanding dengan *bulkhead* yang lain dengan nilai 2.699 mm
4. *Swash bulkhead* dengan diameter 300 mm pada total luasan 8% memiliki deformasi paling rendah dengan nilai 2.450 mm
5. *Longitudinal swash bulkhead* yang paling optimal dari setiap total luasan adalah *longitudinal swash bulkhead* dengan diameter 300 mm.
6. *Longitudinal swash bulkhead* yang paling optimal diantara tiga total luasan adalah *longitudinal swash bulkhead* dengan total luasan 8%. Sehingga diantara 12 model *longitudinal swash bulkhead* yang paling optimal adalah *longitudinal swash bulkhead* diameter 300 mm, dan total luasan 8%.

V.2. Saran

Saran yang dapat diberikan pada tugas akhir ini adalah:

Hasil perhitungan tegangan menggunakan metode elemen hingga pada tugas akhir ini hanya terbatas pada variasi diameter dan jumlah total luasan. Untuk penelitian lebih lanjut dapat dikembangkan menggunakan variasi bentuk lubang, dan posisi lubang.

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- Aulia, M. (2015). *Perkiraan Fatigue Life pada Konstruksi Pintu Graving Dock pada Galangan PT. Dok Bangka Belitung*.
- Biro Klasifikasi Indonesia. (2005). *Regulation for Corrosion Protection and Coating System*. Jakarta: BKI.
- Biro Klasifikasi Indonesia. (2016). *Rules for The Classification and Construction of Seagoing Steel Ship*. Jakarta: BKI.
- Haryadi, B. (2008). *Teori Fisika Dasar*. Bandung.
- Henry, S. M. (1991). *Tanker Spills: Prevention by Design*. Washington D.C: National Academy of Science.
- Hoque, K. (2016). *Analysis of Structural Discontinuities in Ship Hull Using Finite Element Method*. Bangladesh.
- IACS. (2012). *Common Structural Rules for Double Hull Oil Tanker*. IACS.
- Laan, V. D., & Markus, N. L. (1996). *Tanker Provided with Swash Type Bulkhead*.
- Logan, D. (2007). *A First Course in The Finite Element Method*. Platteville: University of Wisconsin.
- LR. (2004). *Structural Design Assessment for Sloshing Loads and Scantling Assessment*. London: LR.
- Nasution. (2010). *Metode Elemen Hingga*. Bandung: ITB.
- Owen, F.H., Paik, J. K. (2010). *Ship Structural Analysis and Design*. New Jersey: The Society of Naval Architects and Marine Enginners.
- Scheneekluth, H. & Bertram, V. (1998). *Ship Design for efficiency economy*. Oxford.
- Weaver, W., & P. R. Johnston. (1993). *Finite Element Method for Structure Analysis*. P.T Eresco.
- Yoder, E.Y., & Witczak M.W. (1975). *Principle of Pavement Design*.

LAMPIRAN
PERHITUNGAN BEBAN

1. Longitudinal Tight Bulkhead

	h_{fill}	b_{tkh}	b_{slh}	f_{slh}	$P_{slh}(kN/m^2)$
1	0,532	23,168	23,168	0,155	21,746
2	1,064	24,182	24,182	0,280	41,965
3	1,596	24,794	24,794	0,395	61,483
4	2,128	24,794	24,794	0,500	77,826
5	2,660	24,794	24,794	0,595	92,613
6	3,191	24,794	24,794	0,680	105,844
7	3,723	24,794	24,794	0,755	117,518
8	4,255	24,794	24,794	0,820	127,635
9	4,787	24,794	24,794	0,875	136,196
10	5,319	24,794	24,794	0,920	143,200
11	5,851	24,794	24,794	0,955	148,648
12	6,383	24,794	24,794	0,980	152,539
13	6,915	24,794	24,794	0,995	154,874
14	7,447	24,794	24,794	1,000	155,652
15	7,979	24,794	24,794	0,995	154,874
16	8,510	24,794	24,794	0,980	152,539
17	9,042	24,794	24,794	0,955	148,648
18	9,574	24,794	24,794	0,920	143,200
19	10,106	24,794	24,794	0,875	136,196

2. Longitudinal Swash Bulkhead

a) Perhitungan beban untuk diameter 200 mm

	h_{fill}	Area open	$\alpha_{wash-lng}$	α_{grd}	b_{tkh}	b_{slh}	f_{slh}	$P_{slh}(kN/m^2)$
1	0,532	0,880	0,004	0,004	23,168	11,584	0,155	7,694
2	1,064	1,759	0,008	0,008	24,182	12,091	0,280	16,052
3	1,596	1,759	0,008	0,008	24,794	12,397	0,395	24,478
4	2,128	2,640	0,012	0,012	24,794	12,397	0,500	30,984
5	2,660	3,520	0,016	0,016	24,794	12,397	0,595	36,871
6	3,191	4,400	0,020	0,020	24,794	12,397	0,680	42,139
7	3,723	5,280	0,024	0,024	24,794	12,397	0,755	46,786
8	4,255	5,720	0,026	0,026	24,794	12,397	0,820	50,814

9	4,787	6,160	0,028	0,028	24,794	12,397	0,875	54,222
10	5,319	7,040	0,032	0,032	24,794	12,397	0,920	57,011
11	5,851	7,920	0,035	0,035	24,794	12,397	0,955	59,180
12	6,383	8,800	0,039	0,039	24,794	12,397	0,980	60,729
13	6,915	9,680	0,043	0,043	24,794	12,397	0,995	61,659
14	7,447	9,680	0,043	0,043	24,794	12,397	1,000	61,968
15	7,979	10,560	0,047	0,047	24,794	12,397	0,995	61,659
16	8,510	11,440	0,051	0,051	24,794	12,397	0,980	60,729
17	9,042	12,320	0,055	0,055	24,794	12,397	0,955	59,180
18	9,574	13,200	0,059	0,059	24,794	12,397	0,920	57,011
19	10,106	14,074	0,063	0,063	24,794	12,397	0,875	54,222

b) Perhitungan beban untuk diameter 300 mm

	h_{fill}	Area open	$\alpha_{wash-ing}$	α_{grd}	b_{tkh}	b_{slh}	f_{slh}	$P_{slh}(kN/m^2)$
1	0,532	0,880	0,004	0,004	23,168	11,584	0,155	7,694
2	1,064	1,759	0,008	0,008	24,182	12,091	0,280	16,052
3	1,596	1,759	0,008	0,008	24,794	12,397	0,395	24,478
4	2,128	2,640	0,012	0,012	24,794	12,397	0,500	30,984
5	2,660	3,520	0,016	0,016	24,794	12,397	0,595	36,871
6	3,191	4,400	0,020	0,020	24,794	12,397	0,680	42,139
7	3,723	5,280	0,024	0,024	24,794	12,397	0,755	46,786
8	4,255	5,720	0,026	0,026	24,794	12,397	0,820	50,814
9	4,787	6,160	0,028	0,028	24,794	12,397	0,875	54,222
10	5,319	7,040	0,032	0,032	24,794	12,397	0,920	57,011
11	5,851	7,920	0,035	0,035	24,794	12,397	0,955	59,180
12	6,383	8,800	0,039	0,039	24,794	12,397	0,980	60,729
13	6,915	9,680	0,043	0,043	24,794	12,397	0,995	61,659
14	7,447	9,680	0,043	0,043	24,794	12,397	1,000	61,968
15	7,979	10,560	0,047	0,047	24,794	12,397	0,995	61,659
16	8,510	11,440	0,051	0,051	24,794	12,397	0,980	60,729
17	9,042	12,320	0,055	0,055	24,794	12,397	0,955	59,180
18	9,574	13,200	0,059	0,059	24,794	12,397	0,920	57,011
19	10,106	14,074	0,063	0,063	24,794	12,397	0,875	54,222

c) Perhitungan beban untuk diameter 400 mm

	h_{fill}	Area open	$\alpha_{wash-lng}$	α_{grd}	b_{tkh}	b_{slh}	f_{slh}	P_{slh}(kN/m²)
1	0,532	0,880	0,004	0,004	23,168	11,584	0,155	7,694
2	1,064	1,759	0,008	0,008	24,182	12,091	0,280	16,052
3	1,596	1,759	0,008	0,008	24,794	12,397	0,395	24,478
4	2,128	2,640	0,012	0,012	24,794	12,397	0,500	30,984
5	2,660	3,520	0,016	0,016	24,794	12,397	0,595	36,871
6	3,191	4,400	0,020	0,020	24,794	12,397	0,680	42,139
7	3,723	5,280	0,024	0,024	24,794	12,397	0,755	46,786
8	4,255	5,720	0,026	0,026	24,794	12,397	0,820	50,814
9	4,787	6,160	0,028	0,028	24,794	12,397	0,875	54,222
10	5,319	7,040	0,032	0,032	24,794	12,397	0,920	57,011
11	5,851	7,920	0,035	0,035	24,794	12,397	0,955	59,180
12	6,383	8,800	0,039	0,039	24,794	12,397	0,980	60,729
13	6,915	9,680	0,043	0,043	24,794	12,397	0,995	61,659
14	7,447	9,680	0,043	0,043	24,794	12,397	1,000	61,968
15	7,979	10,560	0,047	0,047	24,794	12,397	0,995	61,659
16	8,510	11,440	0,051	0,051	24,794	12,397	0,980	60,729
17	9,042	12,320	0,055	0,055	24,794	12,397	0,955	59,180
18	9,574	13,200	0,059	0,059	24,794	12,397	0,920	57,011
19	10,106	14,074	0,063	0,063	24,794	12,397	0,875	54,222

d) Perhitungan beban untuk diameter 500 mm

	h_{fill}	Area open	$\alpha_{wash-lng}$	α_{grd}	b_{tkh}	b_{slh}	f_{slh}	P_{slh}(kN/m²)
1	0,532	1,031	0,005	0,005	23,168	11,584	0,155	7,694
2	1,064	1,571	0,007	0,007	24,182	12,091	0,280	16,052
3	1,596	1,964	0,009	0,009	24,794	12,397	0,395	24,478
4	2,128	3,339	0,015	0,015	24,794	12,397	0,500	30,984
5	2,660	3,732	0,017	0,017	24,794	12,397	0,595	36,871
6	3,191	4,911	0,022	0,022	24,794	12,397	0,680	42,139
7	3,723	5,205	0,023	0,023	24,794	12,397	0,755	46,786
8	4,255	5,893	0,026	0,026	24,794	12,397	0,820	50,814

9	4,787	6,482	0,029	0,029	24,794	12,397	0,875	54,222
10	5,319	7,268	0,033	0,033	24,794	12,397	0,920	57,011
11	5,851	8,054	0,036	0,036	24,794	12,397	0,955	59,180
12	6,383	9,232	0,041	0,041	24,794	12,397	0,980	60,729
13	6,915	9,625	0,043	0,043	24,794	12,397	0,995	61,659
14	7,447	11,000	0,049	0,049	24,794	12,397	1,000	61,968
15	7,979	12,375	0,055	0,055	24,794	12,397	0,995	61,659
16	8,510	12,375	0,055	0,055	24,794	12,397	0,980	60,729
17	9,042	12,375	0,055	0,055	24,794	12,397	0,955	59,180
18	9,574	13,161	0,059	0,059	24,794	12,397	0,920	57,011
19	10,106	13,750	0,062	0,062	24,794	12,397	0,875	54,222

BIODATA PENULIS



Shakina Azizul Haque, itulah nama lengkap penulis. Dilahirkan di Blitar pada 28 Juni 1995 silam, Penulis merupakan anak ketiga dalam keluarga. Penulis menempuh pendidikan formal tingkat dasar pada TK Al-Hidayah, kemudian melanjutkan ke SDN Kanigoro 03, SMPN 4 Blitar dan SMAN 10 Malang Sampoerna Academy. Setelah lulus SMA, Penulis diterima di Departemen Teknik Perkapalan FTK ITS pada tahun 2013 melalui jalur SBMPTN.

Di Departemen Teknik Perkapalan Penulis mengambil Bidang Studi Rekayasa Perkapalan – Konstruksi dan Kekuatan Kapal. Selama masa studi di ITS, selain kuliah Penulis juga pernah menjadi sekertaris Departemen Departemen Dalam Negeri HIMATEKPAL 2014/2015,, serta *Steering Committee* HIMATEKPAL 2015/2016. Selain itu penulis juga aktif sebagai panitia *big event* yang diadakan di kampus.

Email: shakina.azizulhaque.28@gmail.com